

RECHERCHES
SUR
LA VISCOSITÉ
et en particulier sur la viscosité des Gommés

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris
(PHARMACIE)

Présentée et soutenue le 11 avril 1910

PAR

M. J. MERVEAU

Pharmacien de 1^{re} Classe
Conseiller du Commerce Extérieur de la France

JURY { MM. PERROT, Président.
BERTHELOT, Professeur.
LUTZ, Agrégé.

LONS-LE-SAUNIER
IMPRIMERIE ET LITHOGRAPHIE LUCIEN DECLUME

1910

UNIVERSITÉ DE PARIS

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

Année 1909-1910.

N° 8.

RECHERCHES

SUR

LA VISCOSITÉ

et en particulier sur la viscosité des Gommés

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris

(PHARMACIE)

Présentée et soutenue le 11 avril 1910

PAR

M. J. MERVEAU

Pharmacien de 1^{re} Classe

Conseiller du Commerce Extérieur de la France



JURY

{ MM. PERROT, Président.
BERTHELOT, Professeur.
LUTZ, Agrégé.

LONS-LE-SAUNIER

IMPRIMERIE ET LITHOGRAPHIE LUCIEN DECLUME

1910

PERSONNEL DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE



ADMINISTRATION

MM. GUIGNARD, Directeur, Membre de l'Institut, O. *,  I.
BOUCHARDAT, Assesseur, O. *,  I.
E. MUSSON, Secrétaire,  I.

PROFESSEURS

MM. BOUCHARDAT, O. *,  I.	Hydrologie et Minéralogie.
GUIGNARD, Membre de l'Institut, O. *,  I.	
VILLIERS, *,  I.	Botanique générale.
BOURQUELOT, *,  I.	Chimie analytique.
GAUTIER, *,  I.	Pharmacie galénique.
RADAIS,  I.	Chimie minérale.
BÉHAL, *,  I.	Cryptogamie.
PERROT, *,  I.	Chimie organique.
COUTIÈRE,  I.	Matière médicale.
BERTHELOT,  I.	Zoologie.
GRIMBERT,  I.	Physique.
MOUREU, *,  I.	Chimie biologique.
LEBEAU,  I.	Pharmacie chimique.
	Toxicologie.

Professeurs honoraires :

MM. MARCHAND,  I ; JUNGFLEISCH, O. *,  I.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM. GUERBET,  I.	MM. GUÉRIN,  I.
DELÉPINE,  I.	GUÉGUEN,  I.
VALEUR,  A.	LUTZ,  I.
BOUGAULT,  A.	HÉRISSEY,  I.
TASSILLY,  I.	

CHEFS DES TRAVAUX PRATIQUES

MM. DEFACQZ,  I.	Chimie générale.
COUSIN,  I.	Chimie analytique.
GORIS,  I.	Micrographie.
MOURLOT,  I.	Physique.
BARTHELAT,  I.	Microbiologie.

Chef du Laboratoire des examens pratiques : M. JAVILLIER,  A.

Bibliothécaire : M. DORVEAUX,  I.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR PERROT

Hommage de reconnaissante sympathie.

AVANT-PROPOS.

Lorsque M. le Professeur PERROT nous proposa comme sujet de thèse, en raison de notre situation industrielle, l'étude des gommes, il attira spécialement notre attention sur l'intérêt industriel et commercial que présenterait la mesure exacte de la viscosité de ces substances.

Nous avons, en effet, rapidement pu nous convaincre, par les recherches bibliographiques, combien les instruments employés pour apprécier cette propriété semblaient laisser à désirer et M. GORIS, actuellement chef de travaux pratiques, nous fit part des difficultés rencontrées au Laboratoire de Matière Médicale dans l'évaluation de la viscosité de certaines gommes en raison de l'imperfection des procédés actuellement connus.

Nous nous sommes donc attaché à l'étude de ce problème et nous pensons être arrivé à un résultat utile. Mais pour ce faire nous avons été obligé de sortir du domaine de la viscosité des gommes, en généralisant quelque peu la question. Les gommes, en effet, ne sont pas les seules substances pour lesquelles on ait un intérêt à connaître la viscosité ; il est une catégorie de substances où sa détermination présente une réelle importance industrielle, nous voulons parler des huiles de graissage employées dans la machinerie, les chemins de fer, etc.

Là, les moyens de mesurer sont plus perfectionnés et nombreux sont les instruments employés ; leur nombre indique qu'aucun d'eux ne répond exactement aux néces-

sités et nous verrons dans leur étude qu'il en est bien ainsi.

D'un autre côté, l'étude de la mesure de la viscosité est facilitée à certains points de vue par l'emploi de substances de composition chimique bien définie ; tel n'est pas le cas des gommes, tel est celui, au contraire, des sels minéraux et nous nous adresserons à certains d'entre eux, comme l'azotate de potassium, l'iodure de potassium, le chlorure de sodium.

L'étude de la mesure de la viscosité fera donc l'objet du présent travail où nous mettrons à contribution les recherches entreprises par M. RONGERAY au même Laboratoire en le remerciant très vivement d'avoir consenti avec la meilleure bonne grâce à nous communiquer ses résultats avant leur publication et à nous aider fréquemment de ses conseils judicieux et éclairés.

CHAPITRE PREMIER.

La viscosité en général.

L'expression de viscosité est d'un emploi fréquent dans le langage courant et sert, dans l'observation ordinaire des faits journaliers, à distinguer les unes des autres certaines substances ayant un aspect physique différent.

La viscosité y est opposée à la mobilité : tandis que les gouttes provenant d'un liquide mobile se détachent nettement les unes des autres, celles d'un liquide visqueux au contraire ne se séparent que difficilement « en faisant la queue » et quelquefois même il ne se forme plus de gouttes mais un filet continu.

Le chloroforme, l'éther, l'eau, sont d'après cela des liquides mobiles ; la glycérine, les solutions de sucre sont au contraire des liquides visqueux.

Cette façon d'envisager les choses est admise même dans le langage scientifique ; la mobilité sera pour certains liquides une de leurs caractéristiques, pour d'autres au contraire, ce sera la viscosité.

Les dénominations de mobiles et de visqueux ne sont données qu'aux substances liquides. Telle quelle, l'idée de viscosité, basée sur la comparaison de deux substances, suffit aux besoins ordinaires et est parfaitement compréhensible. Mais il est nécessaire de remarquer la différence capitale qui existe entre elle et sa conception rigoureusement scientifique.

Dans le premier cas, en effet, la viscosité n'existe que concurremment à la mobilité ; il y a là deux propriétés différentes : certains corps sont mobiles et d'autres sont visqueux, et personne n'accordera cette dernière qualité au chloroforme par exemple.

En réalité, il n'existe pas deux propriétés distinctes, mais au contraire une seule propriété tout à fait générale : la viscosité. Tous les liquides sont visqueux depuis la glycérine concentrée, les solutions de sucre les plus denses jusqu'à l'éther ou le chloroforme.

La viscosité est une propriété générale, parce qu'elle n'est elle-même que la manifestation d'une autre propriété universelle, la cohésion. Partout où il y a cohésion, il y a viscosité, la cohésion varie-t-elle ? la viscosité varie dans le même sens, d'une façon proportionnelle et l'on sait *qu'on a défini la viscosité un frottement intérieur qui s'oppose au roulement des molécules les unes sur les autres.*

La viscosité est une manifestation de la cohésion, mais pour avoir lieu, il est besoin de certaines conditions.

Si le liquide est en état d'équilibre, la viscosité ne se manifeste pas ; mais, aussitôt cet équilibre rompu, elle apparaît.

La première condition pour faire apparaître la viscosité est donc l'état de mouvement.

C'est pourquoi, d'une façon générale, la viscosité ne se fera pas sentir dans les solides. Nous disons d'une façon générale, car il est certaines substances qui, bien que solides, sont, lorsqu'elles ne sont pas maintenues par les contours rigides d'un récipient, animées d'un mouvement lent de leurs molécules. Tel est le cas de la poix, dont OBERMAYER (1) démontra la mobilité des molécules de la façon suivante :

(1) OBERMAYER, — *Wiener Anzeiger*, 1877, p. 90.

Au fond d'une rainure creusée dans un morceau de bois des débris de liège ont été disposés, sur lesquels on met la poix et sur cette dernière on place de petits cailloux.

Quelques jours après, les morceaux de liège apparaissent à la surface, les cailloux au contraire sont au fond de la rainure. La poix en cette circonstance s'est donc conduite comme un liquide extrêmement visqueux.

Un fait comparable a lieu pour certaines substances résineuses employées en pharmacie : comme le Baume de Tolu, par exemple. Cette substance étant fragmentée et introduite dans un récipient, au bout d'un temps plus ou moins long ces fragments sont remplacés par une masse unique ayant épousé les formes du vase et présentant une surface libre absolument horizontale.

Toute substance non décomposable par les agents physiques peut présenter tous les degrés de la viscosité correspondant à tous les degrés de la cohésion, depuis la forme gazeuse parfaite, jusqu'à la forme solide, en passant par l'état liquide et l'état pâteux qui est un état visqueux très accentué.

En réalité, les substances plastiques que nous venons de citer rentrent dans ce dernier cas.

A la limite la cohésion devenant considérable, luttera avec avantage contre l'action de la pesanteur, les molécules sollicitées par cette dernière résisteront, il n'y aura pas d'écoulement, c'est dire que la viscosité sera infinie.

Historique.

Écoulement dans les tubes étroits.

La conception de la viscosité fut introduite dans la science par GIRARD (1) au cours de son étude sur l'écoulement des liquides dans les tubes capillaires.

Il fut amené, par la constatation de certaines contradictions avec les lois de l'écoulement dans les tubes larges, à imaginer l'existence d'une force spéciale propre à chaque liquide et variable avec lui. Cette force, il la nomma *viscosité spécifique*.

Il reconnut que pour les tubes larges l'action de la viscosité spécifique est négligeable et très importante au contraire pour les tubes capillaires.

Il donna de l'écoulement des liquides dans ces derniers une formule où entrerait comme facteur la viscosité.

Mais c'est POISEUILLE 2) qui découvrit la loi de l'écoulement des tubes capillaires dont l'extrémité plonge dans le liquide.

Il montra que dans ce cas la quantité de liquide qui s'écoule d'un tube capillaire horizontal est proportionnel :

1° A la pression ;

2° A la 4^e puissance du diamètre du capillaire ;

3° A un coefficient K variable avec chaque liquide et inversement proportionnel à la longueur du capillaire.

De la formule donnée par POISEUILLE de l'écoulement des liquides dans le tube capillaire, on peut tirer la valeur de la viscosité :

(1) GIRARD. — Recherches des mouvements dans les espaces capillaires. *Annales de Chim. et de Phys.*, 4^e s., t. XXV.

(2) POISEUILLE. — Recherches expérimentales sur le mouvement du liquide dans les tubes de très petit diamètre. *Mémoire des savants étrangers*, t. XI, p. 433.

$$\mu = \pi \frac{pr^4}{8vl} t$$

μ = étant le coefficient de frottement interne ou viscosité.

p = la pression à l'orifice du tube.

r = le rayon du tube.

l = la longueur du tube.

v = le volume de liquide écoulé.

t = le temps.

COUETTE (1), en opérant sur des tubes de paraffine, WARBURG (2), en employant le mercure, montrèrent ensuite que la loi est vérifiée dans le cas des tubes non mouillés par le liquide ; la nature de la substance du tube n'a donc aucune influence sur l'écoulement dans les tubes de petit diamètre.

On voit donc que la viscosité pourra être déduite de l'écoulement des liquides par les tubes capillaires et seulement dans ce cas.

POISEUILLE s'est demandé si la loi applicable pour une longueur donnée d'un tube capillaire le restait toujours, si l'on diminuait progressivement cette longueur jusqu'à l'orifice en mince parois. L'expérience lui a montré qu'il n'en n'était pas ainsi et que pour un diamètre intérieur donné au-dessous d'une longueur minima, la loi cessait d'être applicable.

DUCLAUX (3), qui a vérifié le fait, conseille de suivre la méthode suivante pour reconnaître si un tube capillaire donné suit la loi.

Ayant mesuré le temps mis par l'unité de volume d'alcool à 50° et d'eau distillée pour s'écouler, par un capillaire de 0^{mm} 46 et de longueur successivement décrois-

(1) COUETTE. — *Etude sur le frottement des liquides* An. de Chim. Phys., 6^e S. t. XXI, p. 433.

(2) WARBURG. — *Ueber den Ausfluss des Quecksilbers aus Glasernen Capillarrohren*. Pog. Ann., t. CXL, p. 367.

(3) DUCLAUX. — *Recherches sur les lois de mouvements des liquides dans les espaces capillaires*. Ann. Ch. et Ph., 1872, 4^e s., t. XXV.

sante, il constata qu'à partir de 52^{mm} les rapports entre eux des temps d'écoulement de ces deux substances, constants jusque-là, se mettent à varier et d'autant plus que la longueur diminue davantage.

Le tableau suivant donne en partie les résultats qu'il a obtenus :

LONGUEUR DES TUBES	TEMPS D'ÉCOULEMENT		RAPPORT
850 ^{mm}	4 h. 50'	1 h. 26'	3.36
651	3 36'	1 4'75"	3.36
551	3 1'15"	63'45"	3.36
»	»	»	»
»	»	»	»
252	1 25'10"	25'20"	3.36
152	51'45"	15'18"	3.37
52	17'45"	5'20"	3.35
26	9'	3' 5"	2.95

On voit par ce tableau que le rapport des temps d'écoulement reste existant tant que le capillaire dépasse une certaine longueur, mais aussitôt cette longueur atteinte on est averti par la variation du rapport.

C'est cette méthode que DUCLAUX conseille d'employer pour s'assurer de la capillarité d'un tube.

Enfin, tout récemment, M. RONCERAY étudiant l'écoulement des tubes capillaires dans l'air a montré les influences perturbatrices qui s'opposent à la chute du liquide.

En particulier, il a établi que pour un liquide s'écoulant

par un tube capillaire dont l'extrémité est mouillée par lui, la loi de Poiseuille n'est pas applicable. Vient-on à enduire d'une substance non mouillée par le liquide l'extrémité du tube, la loi est satisfaite au contraire dans certaines limites de pression.

D'un autre côté, il faut remarquer que le procédé de DUCLAUX pour reconnaître la longueur minima à laquelle un tube obéit à la loi de Poiseuille, ne donne cette limite que pour le liquide le moins visqueux, car à ce moment la loi est encore applicable pour le liquide le plus visqueux.

Au surplus, un procédé très simple, permettant de fixer cette limite pour un liquide donné, ressort de l'étude corrélative de la vitesse d'écoulement et de la forme des gouttes ; la loi de Poiseuille n'est applicable que pendant la chute par gouttes régulières, elle cesse de l'être lorsque les gouttes deviennent pointues et se détachent prématurément.

On reconnaît facilement le passage d'un régime à l'autre par le léger mouvement vibratoire dont sont animées les gouttes non déformées encore.

Mesure de la Viscosité. — La viscosité, telle que nous l'avons envisagée jusqu'ici pour chaque corps en particulier, est la *viscosité absolue* ; sa valeur peut se déduire soit de la formule de Poiseuille, soit par une méthode toute différente, celle de O.-E. MEYER (1).

O.-E. MEYER, pour mesurer la viscosité absolue, se sert des variations que subit l'amplitude des oscillations d'un disque suspendu à l'intérieur du liquide et oscillant dans son propre plan ; on en déduit par le calcul le frottement interne ou viscosité.

Les chiffres obtenus par ce procédé sont un peu plus

(1) O.-E. MEYER. — Ueber die Reibung des Flüssigkeiten, *Ann. Pog.*, t. CXIII, pages 55.

forts que ceux obtenus en s'appuyant sur l'écoulement dans les tubes capillaires.

On trouvera dans JAMIN et BOUTY (1) un tableau résumant quelques-unes des données que l'on possède sur la viscosité absolue.

MM. GROBERT et DEMICHEL (2) ont construit un appareil destiné à la mesure de la viscosité absolue et fondé sur l'application des lois de POISEUILLE.

Mais la viscosité absolue au point de vue industrielle est secondaire ; la viscosité relative est la seule importante et c'est la seule dont il sera question dans ce travail.

La viscosité relative d'un liquide est la viscosité de ce liquide par rapport à celle d'un liquide type prise comme unité.

L'eau est la substance dont la viscosité est généralement prise comme unité ; mais dans certains cas, par exemple dans l'évaluation de la viscosité des huiles, on prend comme unité la viscosité d'une huile type.

Soit V la viscosité absolue d'un liquide,
 v la viscosité relative cherchée de ce liquide,
 V' la viscosité absolue du liquide type.

On a :

$$v = \frac{V}{V'}$$

Mais, d'après les lois de POISEUILLE, la viscosité absolue d'un liquide est proportionnelle au temps d'écoulement.

Soit T le temps d'écoulement du liquide en question,
 T' le temps d'écoulement du liquide type.

On aura :

$$\frac{V}{V'} = \frac{T}{T'}$$

et par suite :

$$v = \frac{T}{T'}$$

(1) JAMIN et BOUTY. — Physique, t. I, p. 135.

(2) GROBERT et DÉMICHEL. — Le Viscosimètre. — *Revue de Chimie analytique*, 1896, p. 333.

Il résulte de là que la mesure de la viscosité relative se ramène à celle du temps d'écoulement de l'unité de volume de liquide.

Connaissant le temps d'écoulement du même volume de liquide type, il suffira de diviser le premier par le second ; le quotient exprimera la viscosité relative cherchée.

Mais il est une condition importante qu'on ne saurait négliger sans encourir de graves erreurs, c'est la question de température. Cela est facile à comprendre, sachant que la viscosité varie dans le même sens que la cohésion ; Or sait que cette dernière diminue à mesure que la température s'élève.

Il sera donc absolument nécessaire d'indiquer la température à laquelle l'écoulement du liquide a eu lieu.

Si l'on doit opérer toujours à la même température il sera commode de déterminer la vitesse d'écoulement, du liquide type à cette température.

Mais si l'on doit opérer à des températures variables on pourra sans inconvénient déterminer la vitesse d'écoulement du liquide type, à une température donnée, pourvu qu'on indique cette température.

Pour montrer l'influence considérable de la chaleur sur la viscosité, il nous suffira de citer les chiffres donnés par GIRARD (1).

SUBSTANCES	TEMPÉRATURE	COEFFICIENT DE VISCOSITÉ
Eau	0°.....	1030
	60°.....	906
Alcool	0°.....	2750
	30°.....	763

Connaissant les relations qui relient la viscosité aux lois de Poiseuille et la nécessité pour sa mesure de se mettre dans les conditions exigées par celles-ci, nous

(1) GIRARD.— In JAMIN et BOUTY, *Phys.*, t. I, 1891, p. 124.

allons passer en revue les principaux viscosimètres et nous pourrons constater déjà, par simple description, comment ces conditions sont remplies.

Deux séries de substances ont donné lieu surtout à des mesures viscosimétriques et à la construction d'appareils destinés à cet usage; ce sont les gommes et les huiles; nous ferons leur description sous deux chapitres différents.

Mesures viscosimétriques se rapportant aux gommes.

Dans une note sur l'essai des gommes, Sacc (1), en 1857, conseille d'évaluer la viscosité des gommes au moyen de deux procédés différents, suivant la concentration des solutions.

Quand la teneur ne dépasse pas 20 %, il conseille la détermination de la densité au moyen de l'aéromètre de Baumé; d'après, lui l'augmentation de la densité est après correction, de 1° pour une augmentation de concentration de 2 gr. %, la température étant de 15° à 20°. Au-dessus d'une concentration de 20 %, les indications seraient de moins en moins exactes au fur et à mesure que la concentration s'élève davantage.

Dans le cas d'une solution contenant plus de 20 % ou encore d'une solution plus faible mais contenant d'autres substances qui en modifient la densité, il préconise l'emploi du viscosimètre de Ochs.

Cet appareil se compose d'un cylindre de fer blanc de 9 centimètres de hauteur sur 45 mm. de diamètre; il est

(1) Sacc.— Essai des gommes employées pour épaissir les couleurs. *Journal de Ph.*, 3^e série, t. XXXII, p. 119, 1867.

fermé à l'une de ses extrémités par un fond percé en son centre d'une ouverture de 4 mm.

L'appareil plongé dans le liquide dont on cherche la viscosité, est maintenu vertical par un poids suspendu à deux fils de laiton reliés au cylindre.

Il s'enfonce d'autant plus rapidement que le liquide est moins visqueux et d'après le temps qu'il met à se remplir on en déduit la viscosité.

En 1870, DUCLAUX (1) est amené à étudier la viscosité de quelques solutions de gomme arabique et les émulsions ; il emploie pour cela le petit appareil qui lui a servi pour la mesure de la tension superficielle, le *compte-gouttes de Salleron*, auquel il donne pour le rendre plus commode la forme d'une pipette. Il fait remarquer qu'il ne considère les chiffres trouvés que comme approximatifs et se promet d'étudier dans la suite les causes d'erreur dans la mesure de la viscosité.

En 1872 (2), il emploie pour étudier la viscosité un autre modèle de ce même compte-gouttes de Salleron. Cet appareil au lieu d'être terminé à sa partie inférieure par un tube plus ou moins capillaire présente une ouverture conique assez large dans laquelle peut venir s'adapter un piston de même forme, en éloignant ce piston plus ou moins, on peut obtenir un espace circulaire et capillaire en même temps aussi faible qu'on le désire.

En 1883 (3), VÉE décrit ainsi l'appareil dont il se sert.

L'extrémité inférieure d'une burette de Mohr étant reliée par un tube de caoutchouc à un tube de verre long de 2 centimètres et terminé par un orifice étroit, une pince

(1) DUCLAUX. — Recherches sur les lois des mouvements des liquides dans les espaces capillaires. *Ann. Ch. et Ph.*, 4^e S., T. XXI, 1870, p. 414-15.

(2) DUCLAUX. — Recherches sur les lois des mouvements des liquides dans les espaces capillaires. *Ann. ph.* 4^e S., T. XXV, 1872, p. 443.

(3) VÉE. — Etude sur les gommés dites arabiques. *Th. Ec. Ph.* 1888, p. 13.

de Mohr permet d'arrêter l'écoulement du liquide. La pince n'étant pas serrée, on verse dans le tube le mucilage en expérience préalablement filtré au papier et quand le niveau affleure le trait 10 c. c, on arrête l'écoulement du liquide. L'ouverture de la pince pendant le remplissage a pour but d'empêcher l'interposition des bulles d'air à la partie inférieure de l'appareil.

Desserrant à nouveau la pince, on note le temps mis par le mucilage pour descendre de 10 à 50".

En 1892, LUNGE (1), décrit comme viscosimètre pour gomme, l'appareil suivant :

Un tube de verre de 20 mm. de diamètre et de 100 mm. de hauteur est terminé par une partie sphérique surmontée d'un tube mince de 8 mm. de diamètre et de 125 mm. de longueur; ce petit tube porte une graduation correspondant aux densités comprises entre 1400 et 1050; le poids de l'instrument est d'environ 39 gr.

La dissolution de gomme étant à 15°, on mouille d'abord l'appareil en le plongeant jusqu'au trait 1200, on le retire, on le laisse égoutter 3 minutes, puis l'appareil affleurant le liquide, on le lâche en même temps qu'on note le temps; on note de nouveau le temps quand le liquide vient affleurer au trait 1200.

Viscosimètres spécialement employés pour les huiles.

En 1875, HUGUET (2) se servit, pour mesurer la viscosité de l'huile de ricin, d'un appareil que VÉE prit comme

(1) LUNGE. — *Nouveau viscosimètre pour l'examen des gommes* Ann. ch. analy., n° 21, 1896, p. 411.

(2) HUGUET. — *Le Ricin*, thèse Ec. Ph. Paris, 1875.

modèle. La partie essentielle en est constituée par un tube étroit par lequel passe le liquide ; du temps mis par le liquide à s'écouler de ce tube il déduit la viscosité.

Le *viscosimètre de Schubler* consistait en un tube de verre de 2 cm. de diamètre ou 10 cm. de hauteur relié à un tube étroit de 1 mm. 6 de diamètre.

Le *viscosimètre de Redwood*, employé surtout en Angleterre, se compose d'un réservoir cylindrique en cuivre argenté de 47 mm. de diamètre et de 88 mm. de profondeur. Au fond on trouve un jet d'agate en forme de coupe pouvant être fermé exactement par une petite sphère en bronze argenté suspendue par un fil (fig. 1).

Une pointe fixée à la partie supérieure et interne de la paroi sert à indiquer le niveau. Cette partie de l'appareil que constitue le tube d'écoulement se trouve entourée par un manchon en cuivre où l'on introduira de l'eau chaude continuellement mélangée par un agitateur.

Deux thermomètres, l'un dans le tube central, l'autre dans le manchon, donnent la température des deux enceintes. Des vis calantes sont destinées à mettre l'appareil en place ; enfin le liquide écoulé est reçu dans un vase maintenu par un bain d'eau chaude à une température égale à celle qui règne dans l'appareil.

Il est de la plus grande importance que la surface de l'orifice soit rigoureusement de la même dimension dans tous les instruments.

Pour opérer, on repère le niveau avec les plus grandes

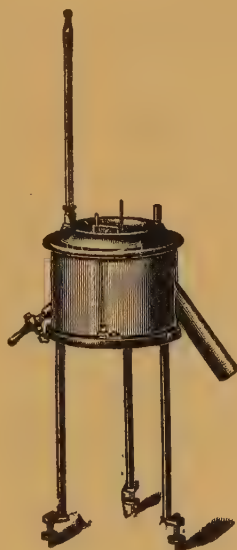


FIGURE 1.—Viscosimètre de Redwood.

précautions, puis on fait écouler 50 cc. de liquide dans le vase chauffé à la même température, on doit faire au moins deux essais qui doivent être concordants.

Le *viscosimètre d'Allen* est une modification de celui de REDWOOD, la charge d'écoulement est rendue constante.

Le *viscosimètre de Schmid* est construit sur le même principe.

Le *viscosimètre d'Engler* se compose de deux vases, l'un extérieur servant de bain-marie pour élever et maintenir la température au degré voulu, l'autre intérieur dont le fond présente un tube d'écoulement de 20 mm. de long, de 2 mm. 9 de diamètre au sommet et de 2 mm. 8 à la base.

Pour cet appareil comme pour ceux décrits plus haut, le liquide écoulé est mesuré volumétriquement dans un vase jaugé.

L'appareil normal est construit par Desague, à Heidelberg, et, d'après Engler, tout appareil provenant d'une autre source ne peut donner des indications concordantes.

Avec l'*ixomètre de Barbeij*, on mesure l'inverse de la viscosité, autrement dit la fluidité.

Si la viscosité d'une huile est de $\frac{2}{3}$ par exemple, sa fluidité sera exprimée par la fraction $\frac{3}{2}$, l'appareil est disposé pour avoir une pression et une température constantes. Le tube d'écoulement mesure 5 mm. de diamètre.

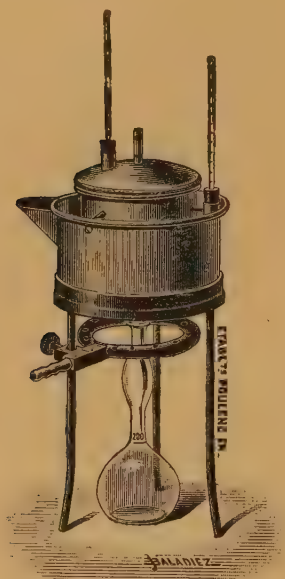


FIG. 2. — Viscosimètre d'Engler.

Le Dr RUDOLF NETTEL (1) a proposé en 1905 une méthode fondée sur les différences de vitesse de chutes de gouttes d'eau de même poids dans les huiles. En voici le principe :

On détermine d'abord le temps de chute de 2 gouttes d'eau dans 2 huiles de viscosités assez différentes l'une de l'autre, déterminées préalablement avec l'appareil d'Engler. Les deux vitesses divisées par les viscosités correspondantes donnent 2 chiffres : FA pour l'une et Fa pour l'autre.

Ces deux facteurs déterminés une fois pour toutes, si l'on veut chercher la viscosité d'une huile X par exemple, on commence par déterminer la vitesse de chute d'une goutte d'eau de même poids que précédemment dans cette huile. D'un autre côté, le facteur Fa sera donné par la formule suivante établie par l'auteur :

$$Fa = FA - \left[\frac{FA - Fa}{DA - Da} (DA - Dx) \right]$$

DA = Densité de l'huile A.

Da = Densité de l'huile a.

Dx = Densité de l'huile x.

$$\text{Or : } Fx = \frac{\text{Vitesse dans x.}}{\text{Viscosité d-x.}}$$

$$\text{Donc Viscosité} = \frac{Fx}{\text{Vitesse dans x.}}$$

ce qui permet de calculer la viscosité.

Viscosimètres divers.

Le viscosimètre de NEUMANN WENDER (2) se compose de 2 tubes verticaux. L'un d'eux, d'une contenance de 20 cc.,

(1) Dr RUDOLF NETTEL. — *Chemiker Zeitung*, n° 29, 1905, p. 386.

(2) NEUMANN WENDER. — Un nouveau viscosimètre, *Revue de Chimie analytique*, n° 9, mai 1896, p. 231.

est obturé par un bouchon d'ouate au travers duquel passe un thermomètre.

L'autre, d'un diamètre plus petit, contient seulement 2 cc. et porte 4 traits. Ces deux tubes verticaux sont réunis à leur partie inférieure par un tube horizontal étroit de 20 centimètres de longueur ; le tube vertical le plus petit est en communication avec un tube à chlorure de calcium et par l'intermédiaire de ce dernier et d'un robinet à trois voies avec une poire en caoutchouc soit avec l'air.

Pour faire une opération, on introduit le liquide dans le tube vertical large, puis, mettant le robinet en communication avec l'air, on fait écouler le liquide d'une branche dans l'autre en notant le temps.

L'appareil plonge dans de l'eau à température connue.

Le *Lactoviscosimètre* de P. MICAULT (1) est destiné à vérifier l'intégrité du lait pour l'observation de la viscosité.

Il se compose d'un petit réservoir en cuivre étamé présentant à la partie supérieure une ouverture bouchée par un bouchon à vis. Ce bouchon métallique est traversé par un tube de rentrée d'air. A la partie inférieure du réservoir se trouve fixé un tube de verre étroit



FIG. 3. — Lactoviscosimètre de P. Micault.

protégé par une gaine de métal ; les dimensions de ce tube ont été étudiées pour donner avec les liquides de viscosité voisine de l'eau, le maximum d'exactitude. Le lait s'échappe

(1) MICAULT. — Sur la méthode viscométrique pour contrôler la composition des liquides et spécialement du lait. *J. de Ch. et Ph*, n° 11, p. 531, 1904.

goutte à goutte dans un godet, où plonge un thermomètre, on compte avec une montre à secondes la durée exacte de l'écoulement, puis on se reporte à des tables qui accompagnent l'instrument et indiquent la viscosité.

Le *Viscosimètre pour vernis* de E. VALENTA (1) mesure la viscosité d'après le temps mis par une petite sphère pour traverser une couche de liquide de hauteur donnée. Ainsi la sphère de l'appareil en question mettant une seconde à tomber dans l'eau et 33 secondes à tomber dans l'huile de ricin, l'auteur exprime la viscosité de l'eau 1 et la viscosité de l'huile 33.

En 1905, YVON (2) se sert pour mesurer la viscosité d'un grand nombre de substances de son *compte-gouttes normal*, constitué par un tube capillaire de dimensions déterminées, relié par un tube de caoutchouc à un vase de Mariotte permettant d'obtenir une pression constante. Une pince posée sur le caoutchouc permet de supprimer l'écoulement.

Dans ses expériences l'auteur pratique l'écoulement sous une hauteur de chute constante de 0 m. 03 ; les dimensions de son tube capillaire sont les suivantes :

Diamètre total extérieur..	3 mm. 10
Diamètre intérieur.....	0 mm. 7
Longueur —	1 cm. 2

Enfin il nous reste à décrire un viscosimètre que nous avons ignoré jusqu'à la fin de nos recherches ; les données qui ont présidé à sa construction en font un appareil scientifique.

Cependant nous verrons que la partie de notre travail qui a trait à la recherche d'un instrument de précision, n'a pas été à cause de cela rendue inutile, car l'appareil en

(1) E. VALENTA. — *Chemiker Zeitung*, n° 47, 1906, p. 583.

(2) YVON. — Du compte-gouttes normal et de ses applications dans la pratique pharmaceutique. O Doin, éd., Paris, 1900, p. 74 et 86.

question, outre sa complication, présente de plus quelques détails nuisant à l'exactitude des résultats.

Le viscosimètre en question est celui de MM. GROBERT et DEMICHEL (1).

Une description sommaire ne pourrait donner une idée exacte de l'appareil et des précautions à prendre pour sa manipulation, aussi renvoyons-nous le lecteur à l'article des auteurs.

L'inconvénient provenant de la complication de l'appareil et de ses manipulations est assez grave pour que MM. GROBERT et DEMICHEL aient proposé un autre appareil pour les usages courants ; appareil très simple à la vérité, mais avec lequel les résultats sont entachés encore d'inexactitudes flagrantes. Il se compose d'un récipient cylindrique en verre obturé à sa partie supérieure par un bouchon laissant passer : 1° un thermomètre ; 2° un tube de rentrée d'air ; à la partie inférieure peuvent être adaptés des tubes étroits de dimensions diverses suivant qu'on le juge à propos, un manchon entoure l'appareil et permet la circulation d'un courant d'eau.

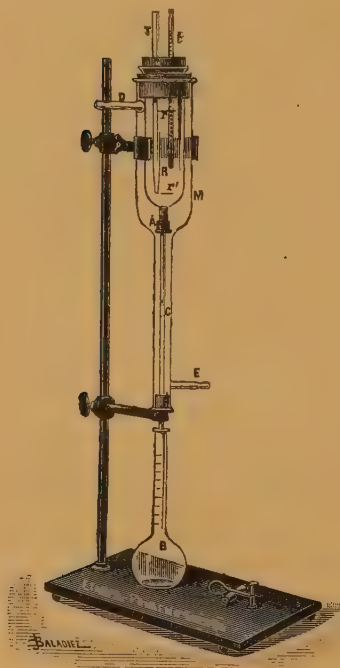


FIG. 4. — Viscosimètre simplifié de MM. Grobert et Demichel.

Pour faire une opération on remplit de liquide, on chasse les bulles d'air, puis on bouche en amenant l'extrémité du

(1) MM. GROBERT et DEMICHEL. — Le Viscosimètre. *Revue de Ch. anal.*, 1896, p. 333.

tube de Mariotte à la hauteur d'un repère gravé sur le récipient, puis à ce moment on place sous l'extrémité du tube étroit un ballon jaugé de 100 cc. en déclanchant un compteur à secondes; le rapport du temps avec celui donné par un liquide type donne la viscosité relative.

Tels sont les différents appareils proposés jusqu'ici pour mesurer la constante viscosité ; nous allons maintenant entrer dans l'exposé de nos observations particulières en commençant par chercher à établir un appareil ne présentant pas les inconvénients des précédents.

Nota. — Pendant l'impression de ce travail, paraissait, dans la *Tribune médicale* des 5 et 12 février 1910, une étude du Dr René GAY, intitulée *Revue critique sur la viscosité du sang*.

L'auteur y décrit un certain nombre de méthodes et appareils spécialement destinés à l'étude de la viscosité du sang ; ces appareils ne pourraient être employés aux usages industriels et par conséquent n'ont à ce point de vue qu'un intérêt secondaire. Le viscosimètre figuré en premier lieu sans désignation spéciale présente une défectuosité qui entraîne des causes d'erreur suffisantes pour qu'il ne soit pas recommandable ; en effet, la mise en marche et l'arrêt de l'écoulement se font au moyen d'une pince placée sur un tube de caoutchouc, nous montrerons plus loin l'inconvénient assez grave de ce dispositif.

L'appareil de *Battazzi* qui vient ensuite ne pourrait être employé pratiquement à cause de la difficulté de maintenir constante la pression réduite.

Le *Viscosimètre de Mayer* ne permet pas de mesurer exactement la pression.

Le *Viscosimètre de Hess*, construit pour agir sur une quantité très minime de liquide, présente les défauts énumérés par le Dr GAY.

Au total, cette étude très intéressante de la viscosité du sang délaisse le problème de la viscosité industrielle, point de vue exclusif auquel nous nous sommes placés.

CHAPITRE II.

Conditions à remplir pour la détermination de la viscosité.

Capillarité du tube d'écoulement. — La viscosité absolue entrant comme facteur bien déterminé dans la formule de POISEUILLE, il est indiscutable, que la recherche de sa valeur ne pourra s'effectuer que dans les conditions de la loi. Mais on peut se demander si dans la recherche de la viscosité relative l'application de cette loi est nécessaire. On peut en effet tenir le raisonnement suivant :

Un tube non capillaire ne peut permettre de mesurer la viscosité absolue; cette dernière subit en effet une erreur du fait de l'inapplicabilité de la loi de POISEUILLE; mais on peut se demander si les viscosités absolues de 2 liquides différents ne seront pas modifiées d'une façon comparable, de telle sorte que leur rapport ne change pas, or ce rapport exprimerait justement la viscosité relative.

Ce raisonnement n'est vrai qu'en apparence, il serait exact si les deux liquides cessaient d'obéir à la loi de Poiseuille pour le même tube au même moment, mais il a été démontré que pour les liquides très visqueux comme la glycérine, le sirop de sucre, etc., la loi de Poiseuille était encore applicable, alors qu'elle ne l'était plus depuis longtemps pour les liquides moins visqueux, comme l'eau. Dès lors les modifications au chiffre de la viscosité absolue ne se font pas sentir encore pour la glycérine et les liquides semblables,

alors que pour l'eau cette valeur est depuis longtemps variable.

Il en résulte donc que pour un même tube non capillaire les variations ne sont pas proportionnées dans les deux cas et que le quotient des deux chiffres n'exprimera pas la valeur de la viscosité relative.

Il est facile de se rendre compte de la valeur de ces déductions en se reportant aux expériences de DUCLAUX (1) sur la vitesse de l'eau et de l'alcool dans des tubes de longueurs successivement décroissantes. Le rapport des temps indiqués dans la dernière colonne du tableau que donne ce savant exprime justement la viscosité relative; or on voit qu'à partir de la longueur de 52 mm., ce rapport cesse d'être constant et par suite n'exprime plus la viscosité relative.

Il était nécessaire de bien faire sentir l'illusion du premier raisonnement, car c'est justement sur elle que MM. GROBERT et DEMICHEL (2) se sont appuyés pour construire leur appareil simplifié.

« Si, disent-ils, on néglige de satisfaire exactement ces
« conditions (de la loi de Poiseuille), on n'a donc plus le droit
« d'appliquer la formule de Poiseuille, en ce sens que les
« résultats obtenus ne représentent plus les véritables
« viscosités. Mais on peut cependant utiliser un instru-
« ment de ce genre en considérant les observations faites
« avec des liquides analogues comme comparables,
« autrement dit en ne cherchant que des valeurs rela-
« tives etc. »

On voit par les chiffres de Duclaux que dans ces conditions le viscosimètre simplifié ne peut déjà plus donner d'indications exactes. Et cette cause d'erreur est commune

(1) DUCLAUX. — Recherches sur les lois des mouvements des liquides dans les espaces capillaires. *Ann. Ch. et Ph.*, 1872, 4^e s., t. XXV, p. 443.

(2) MM. GROBERT et DEMICHEL. — Viscosimètre simplifié. Essais industriels des pétroles, huiles et corps gras (Poulenc Fr.).

à tous les viscosimètres décrits plus haut, sauf au 1^{er} viscosimètre de MM. GROBERT et DEMICHEL.

On pourrait objecter ce que nous venons de signaler tout à l'heure, à savoir que pour certains liquides visqueux comme la glycérine, les lois de Poiseuille sont applicables pour des tubes dont les dimensions sont plus grandes que celles des tubes capillaires ordinaires.

C'est exact, mais alors à quel critérium reconnaître dans ces instruments si la loi est satisfaite ?

Au surplus, aucun des auteurs précédents, sauf MM. GROBERT et DEMICHEL, ne se sont préoccupés de l'application de ces lois, et pour certains appareils comme celui d'ENGLER les principes sur lesquels ils reposent sont si vagues qu'une condition d'exactitude est que l'appareil soit construit chez le même constructeur.

Il est donc nécessaire de reconnaître si, dans le cas du tube avec lequel on opère, la loi de Poiseuille se trouve satisfaite.

Pour reconnaître si un tube est capillaire et dans quelles limites de pression pour un liquide donné, un premier procédé consistera à déterminer la vitesse d'écoulement et à voir dans quelle limite les chiffres obtenus sont proportionnels ; le fait établi pour un liquide déterminé, il sera inutile de le vérifier pour un liquide plus visqueux, car la loi est d'autant mieux applicable que le liquide est plus visqueux.

Un deuxième procédé, beaucoup plus simple et aussi exact, est celui indiqué par COUETTE puis par RONCERAY.

Ces auteurs ont constaté que, pour un tube répondant à la loi de Poiseuille avec un liquide donné, ceci n'est juste que dans les limites de pression où le liquide s'échappe par gouttes et en gouttes bien formées. Il existe deux régimes de gouttes : le régime régulier et le régime irrégulier. Dans le premier, les gouttes se détachent parfaitement arrondies ; dans le second, elles sont plus ou moins pointues.

On reconnaît facilement le moment où l'on entre dans le 2^e régime par l'état de vibrations dans lequel entre la goutte pendant sa formation. C'est seulement pendant le premier régime que la loi est applicable.

Telles sont donc les conditions que devra remplir le tube d'écoulement.

Il devra être capillaire pour le liquide le moins visqueux parmi ceux sur lesquels on opère, et pour cela, il devra donner des gouttes régulières.

Pression. — La pression entrant comme facteur dans la formule de Poiseuille, il sera nécessaire de la rendre constante pour obtenir des résultats comparables.

Dans l'ixomètre de BARBEY, dans les viscosimètres d'ALLEN, d'YVON et de MM. GROBET et DEMICHEL, cette condition est observée en partie du moins.

Dans ces appareils en effet, on rend constant la hauteur de liquide au-dessus de l'extrémité soit par addition de liquide pendant l'écoulement, soit par l'emploi d'un vase de Mariotte.

Mais un facteur, en apparence négligeable, en réalité très important, la *densité*, n'entre en ligne de compte dans aucun des appareils précédemment décrits, sauf dans l'appareil perfectionné de MM. GROBET et DEMICHEL.

Nous montrerons, par des expériences l'action importante de la densité.

Puisque nous parlons de la densité, il y a lieu de discuter deux méthodes qui reposent sur un principe autre que l'écoulement par un tube étroit, c'est :

1^o la *Méthode du Dr Rudolf Nettel* ;

2^o la *Méthode de M. E. Valenta*.

La première paraît exacte d'après les chiffres donnés par l'auteur ; mais c'est une méthode surnuméraire en quelque sorte, elle ne se suffit pas à elle-même et ses premières données proviennent d'un autre viscosimètre ; il a été dit

tout à l'heure qu'elle était exacte, c'est plutôt par rapport à ce dernier qu'il faudrait dire, car ce sont les indications de cet instrument qu'elle donne. D'un autre côté, elle est soumise en elle-même à des erreurs difficiles à éviter, car le poids de la goutte de liquide est une grandeur bien variable puisque malgré de nombreuses recherches on n'est pas encore d'accord sur un compte-gouttes normal.

Quant à la méthode de E. Valenta, si nous l'avons décrite, c'est plutôt pour montrer le besoin qui se fait sentir dans des industries diverses, de la connaissance de la viscosité. C'est un véritable contresens, car elle met en jeu au maximum la densité du liquide et n'en tient compte en aucune façon dans les résultats.

La sphère qui descend dans le liquide subit deux forces retardatrices, d'une part : c'est évident, la viscosité, mais aussi la poussée hydrostatique que définit le principe d'Archimède.

C'est donc la résultante que l'on mesure par cette méthode et non pas la viscosité.

Dans l'appareil de Meyer, qui lui a servi à mesurer les viscosités absolues, ce sont les mouvements d'un pendule dans le liquide qu'on mesure ; mais, là, l'erreur provenant de la densité a été réduite au minimum en rendant le disque mobile très mince.

Dans l'appareil dont nous nous servons, nous rendrons donc le niveau constant au moyen d'un vase de Mariotte et nous donnerons au liquide une hauteur calculée suivant sa densité ; on pourrait également faire la correction de la densité ensuite.

Dans certains cas, au lieu d'employer un vase de Mariotte, on pourrait employer le dispositif de Poiseuille qui consiste à déclancher le compteur à secondes au moment où le niveau du liquide vient à la hauteur d'un trait gravé sur le vase cylindrique qui le contient et l'arrêter lorsque ce même niveau passe devant un deuxième trait, ceci est

applicable seulement pour les liquides relativement peu visqueux comme l'eau.

Cette méthode devient inexacte dans le cas de liquides tels que les dissolutions de sucre, de glycérine, etc., car avec ceux-ci, une quantité de liquide assez considérable reste attachée aux parois.

Il faut donc revenir au vase de Mariotte.

Température. — Comme il a été dit plus haut la connaissance de la température est une condition importante et il ne suffit pas de noter celle du milieu extérieur, car elle peut différer parfois de celle du liquide.

Négligée dans certains appareils précédents, elle a été, dans d'autres, l'objet des plus grandes précautions et, sans nous arrêter à discuter la façon dont on l'a rendue constante dans tous les viscosimètres précédemment cités et que les imperfections déjà signalées suffisent à rayer en tant qu'appareils donnant des indications même approchées ; nous nous contenterons de l'examiner dans le seul viscosimètre méritant véritablement ce nom, celui de MM. GROBERT et DEMICHEL, nous voulons parler de leur appareil perfectionné.

La vase de Mariotte est entouré d'un manchon où circule un courant d'eau à température constante ; nous pensons qu'il serait sans inconvénient de supprimer ce manchon bien superflu, car le liquide passe ensuite dans un long tube vertical où, grâce à la lenteur du courant, il a le temps de se mettre à la température ambiante. Le manchon qui entoure le capillaire suffit peut-être grâce à la lenteur du courant à rendre la température constante, quoique l'épaisseur du capillaire soit un grand obstacle ; mais, à la suite du capillaire, se trouve un tube vertical assez large, relativement mince, exposé à l'air et, par suite, tendant à prendre la température de celui-ci ; or, il est évident que la viscosité variant dans cette partie

change le mode d'écoulement et, par suite, les résultats sont faussés.

Voici donc, après mûres réflexions, à quel dispositif nous nous sommes arrêté.

Le capillaire A est précédé d'une partie renflée B de 10 cmc ; c'est cette partie seule qui plonge dans l'eau contenue dans le manchon D. Dans le cas où la température extérieure est plus élevée que celle du liquide, nous serons certain que le liquide s'écoulant par A sera bien à la température du bain, car, étant plus dense, elle reste en bas ; d'un autre côté, nous ferons écouler une quantité de liquide toujours inférieure à celle contenue dans B.

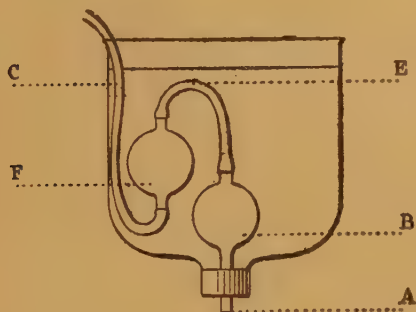


FIG. 5. — Dispositif pour maintenir la température constante.

tube d'entrée C ; dès lors, on voit que le liquide plus froid arrivant par C déplacera le liquide plus chaud de F, et cela avec régularité, à cause de la lenteur de l'écoulement. On arrêtera l'écoulement avant d'avoir un volume supérieur à F, de telle sorte que l'on sera sûr que le liquide écoulé sera à la température du bain.

D'un autre côté, l'écoulement doit durer aussi peu de temps que possible ; en conséquence, nous recueillerons de petites quantités de liquide.

Mesure du liquide écoulé. — Dans les méthodes viscosimétriques précédentes, sauf dans celles du D^r RUDOLPH

Si la température ambiante est moins élevée que la température du bain, nous emploierons le 2^e dispositif suivant :

A côté de B, un tube renflé F de même dimension est réuni à lui par le tube E ; l'extrémité inférieure de F communique avec le

NETTEL et de E. VALENTA, qui sont des méthodes spéciales, sauf également dans l'appareil d'YVON dont nous aurons à discuter à part le mode de mesure, le liquide écoulé est mesuré en volume et ordinairement sous un volume assez considérable, 100 cc. en général.

Cette façon de procéder présente des inconvénients graves.

D'abord, l'écoulement de 100 cc., surtout quand l'écoulement se fait suivant la loi de Poiseuille, demande un temps relativement considérable. Il est donc difficile, pendant ce temps, de maintenir la température constante; par suite, l'écoulement est très variable.

D'un autre côté, le liquide écoulé occupera des volumes différents suivant la température et cette erreur pourrait être considérable.

C'est encore une cause d'erreur pour le premier appareil de MM. GROBERT et DEMICHEL. D'un autre côté, mesurer en volume à température constante une petite quantité de liquide, manque d'exactitude; nous nous en tiendrons donc au seul procédé qui nous donnera une exactitude parfaite, la balance.

Mesure du temps. — Dans tous les appareils précédents, la mesure du temps a été faite tantôt avec la montre à secondes, tantôt avec le compteur au $1/5$ de seconde permettant d'apprécier le $1/10$ de seconde; c'est ce dernier procédé que nous emploierons.

CHAPITRE III.

Description et mode d'emploi de notre viscosimètre.

Un ballon B peut glisser par l'intermédiaire de la pince P sur une tige verticale. Il présente deux ouvertures, une supérieure large fermée par un bouchon de caoutchouc traversé par un tube dont l'extrémité inférieure plonge jusqu'au fond du ballon et servira à la rentrée d'air en transformant le ballon en vase de Mariotte.

L'ouverture inférieure est étroite et présente un ajustage sur lequel s'adapte un tube en caoutchouc.

C'est à l'extrémité de ce tube de caoutchouc que se trouve adapté le tube d'écoulement formé d'une part par le capillaire et d'autre part par une portion élargie qui diminue l'action capillaire à l'entrée et permet, comme nous le verrons tout à l'heure, d'avoir une température toujours égale.

Cette partie renflée se trouve entourée par un manchon destiné à contenir de l'eau dont la température est donnée par un thermomètre.

Ce manchon, et par suite le capillaire, est soutenu par une pince pouvant glisser sur la tige verticale. Une pince placée sur le caoutchouc permet ou arrête l'écoulement à volonté.

La tige verticale est graduée en millimètres et placée à la partie supérieure. Deux index en pointe glissant à frot-

tement sur la tige indiquent exactement le degré voulu.

Il est important de se servir d'un caoutchouc épais pour relier les deux parties de l'appareil, de façon à éviter les rétrécissements qui pourraient provenir d'une pliure brusque d'un caoutchouc mincé.

Les deux dispositifs de réfrigération que nous avons adoptés ont été décrits précédemment ; nous n'y revenons pas ici.

Le liquide sur lequel on opère doit être filtré avec soin, pour éviter la présence de particules qui, quoique ténues, ne manqueraient pas d'obstruer le tube ou tout au moins de diminuer son débit réel.

Voici la suite des manipulations nécessaires pour mettre l'appareil en état de fonctionner.

Remplissage. — Le capillaire étant retiré du bain régulateur, on le dispose la pointe en l'air ; d'autre part, on introduit le liquide dont on veut connaître la viscosité dans le ballon.

Ce liquide pénètre dans le tube en caoutchouc, mais

d'abord irrégulièrement, entrecoupé de bulles d'air ; par une manœuvre d'abaissement et de relèvement alternatif du capillaire, on détermine la rentrée du liquide dans le ballon, puis sa sortie ; dans ces condi-

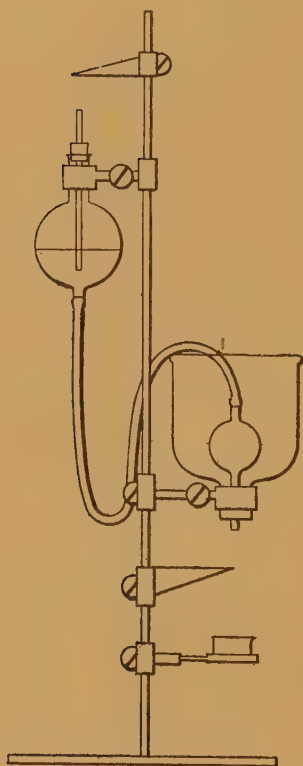


FIG. 6. — Viscosimètre employé.

tions, les bulles d'air s'échappent complètement ; on abaisse alors graduellement le capillaire en maintenant toujours la pointe en haut ; le liquide remplit ainsi complètement l'appareil. Dans certains cas, le niveau du liquide est précédé par une mousse persistante ; il suffira alors de laisser écouler cette mousse en maintenant toujours la pointe en haut, jusqu'à ce qu'elle soit complètement disparue.

Il reste à retourner l'extrémité capillaire et l'introduire dans le col du manchon. Cette petite manœuvre demande une précaution ; si, avant de le faire, on plaçait la pince sur le caoutchouc, on introduirait presque à coup sûr des bulles d'air par l'extrémité ; on évite cet inconvénient en laissant l'écoulement se produire pendant qu'on retourne la pointe ; on adapte cette dernière dans l'ouverture du caoutchouc fermant le col du réfrigérant et, dès lors, on peut poser sans inconvénient la pince.

On ferme l'ouverture du ballon avec le bouchon muni de son tube de Mariotte.

Pour le 2^e dispositif employé dans le cas du manchon réchauffant, le *modus faciendi* est exactement le même, car les parties coudées, étant en caoutchouc, se mettront en ligne droite. Il reste à mettre l'écoulement à la hauteur voulue.

Mesure de la pression. — Soit 20 cm. la hauteur de chute à donner au liquide. L'écoulement se faisant par l'intermédiaire du tube de Mariotte, cette pression devra être mesurée à partir de l'extrémité inférieure du tube d'arrivée de l'air.

On a mesuré au préalable, d'une façon exacte, la longueur de ce tube, soit 18 cm. Il nous suffira donc de mettre l'extrémité du capillaire à $20 + 18$ cm. de l'extrémité supérieure du tube de Mariotte pour avoir une hauteur de chute = à 20 cm.

Pour cela, on disposera l'index inférieur au O de la graduation et on amènera à son contact l'extrémité du tube capillaire ; puis, plaçant l'index supérieur à la division $20 + 18 = 38$, on amènera à son contact l'extrémité supérieure du tube de Mariotte.

Dans cette manœuvre, il est nécessaire d'éviter la rentrée de l'air ; pour cela, il est prudent de laisser la pince du caoutchouc légèrement desserrée, de façon à permettre un écoulement très faible.

Température.— On verse dans le manchon entourant le capillaire de l'eau à une température un peu supérieure à celle que l'on veut obtenir et on laisse l'équilibre s'établir quelques instants. Nous avons vu plus haut comment le dispositif employé permettait d'obtenir un écoulement à la température voulue.

Cet équilibre de température s'obtient très rapidement à cause du petit volume de l'ampoule.

Pour les températures un peu élevées, 40° , 45° , 50° , etc., on commence l'écoulement non pas exactement à l'instant où la température voulue est atteinte, mais un peu avant.

Ainsi veut-on pratiquer l'écoulement à 40° , la température de l'eau extérieure étant inférieure, on attendra que le thermomètre marque par exemple $41^{\circ}1$. Ceci en raison du temps nécessaire à l'opération et de telle sorte que la température soit environ $39^{\circ}9$. On a donc ainsi opéré à une température moyenne de 40° . Mais cette méthode ne pourrait être employée sans erreur quand l'écoulement dure exceptionnellement longtemps ; dans ce cas, il faut maintenir la température par affusion ménagée d'eau.

Mesure du liquide écoulé.— Il a été dit plus haut pourquoi nous avons adopté la pesée comme moyen de mesure du liquide, mais il n'a pas été question de la façon de recueillir le liquide.

Il ne faut pas songer à desserrer brusquement la pince

en déclanchant le compte-secondes ; l'élasticité du tube de caoutchouc fait en effet que l'écoulement n'a pas lieu immédiatement mais après réplétion suffisante de ses parois ; de même à la fermeture, il est impossible d'obtenir l'arrêt net et immédiat de l'écoulement, on voit au contraire, au moment où le caoutchouc est pincé, le liquide sortir plus rapidement. Ce qui tient d'une part à la pression produite par la pince elle-même et d'autre part à la distension des parois élastiques, qui, n'étant plus soumises à une pression aussi forte, reviennent sur elles-mêmes.

Nous avons primitivement essayé cette méthode, mais force fut de l'abandonner à cause de l'incertitude des résultats ; les quelques expériences que nous donnons ci-dessous suffiront à montrer ces faits.

Le procédé suivant paraît le seul convenable : l'écoulement étant établi, placer brusquement le flacon taré sous l'extrémité du capillaire en déclanchant le compte-secondes. L'écoulement, en effet, pour obéir à la loi de Poiseuille doit se faire par gouttes ; dès lors, il est évident que la quantité de liquide recueilli ne sera pas la même si nous plaçons le récipient taré au moment même où une goutte tombe, ou dans l'intervalle de la formation de deux gouttes à un moment quelconque.

Voici donc comment il faudra opérer : on compte les gouttes qui se détachent, 1, 2, 3, et au moment où on compte 4, par exemple, on place, *sans recueillir la goutte qui tombe*, la capsule sous le capillaire en déclanchant le compte-secondes. De cette façon, la chute d'une goutte marquant l'origine d'une deuxième goutte en formation, le temps sera compté à partir de la naissance d'une goutte. A la fin de l'opération, on comptera de même 1, 2, 3 et à 4, par exemple, on retirera rapidement le récipient *après avoir recueilli la goutte* et en arrêtant le compte-secondes.

Voici quelques expériences où les deux méthodes précédentes ont été employées.

TABEAU I.

PRESSIONS	TEMPS	VOLUME ÉCOULÉ	
		avec pince	sans pince
15	2'15"	7,785	7,7
20	2'	9,10	9
25	1'15"	7	6,95
30	60"	6,65	6,535
35	60"	7,65	7,50
40	60"	8,54	8,45

On voit que dans tous les cas l'emploi de la pince a donné un chiffre supérieur.

Précautions diverses. — Enfin, il reste à énumérer quelques petites précautions auxquelles on peut ne pas penser, mais qui sont nécessaires.

Après une opération avec une solution d'une teneur donnée, il faudra pour l'emploi d'une solution d'une concentration différente, laver soigneusement l'appareil avec une certaine quantité de cette dernière et rejeter ce liquide de lavage.

Lorsqu'on a opéré précédemment sur un liquide volatil comme l'alcool, l'éther, etc., il faut remplir complètement l'appareil d'eau à plusieurs reprises, ou mieux, y faire passer un courant d'air chaud pour en chasser toute trace, car de faibles quantités de ces liquides modifient profondément la viscosité.

Avec des solutions de gommes, il arrive assez fréquemment que la goutte pour peu qu'elle séjourne à l'extrémité du capillaire s'évapore, s'épaissit et obstrue le tube en partie ; il sera nécessaire de vérifier souvent si cette extrémité est entièrement libre et exempte de substance concrète.

Expériences destinées à s'assurer de la capillarité du tube employé.— Comme il a été dit, il existe deux moyens de se rendre compte qu'un tube répond aux conditions de la loi de Poiseuille.

Ou bien vérifier la loi des pressions, ou bien se fonder sur la forme des gouttes.

Voici les résultats de la vérification de la loi des pressions.

TABLEAU II.

PRESSIONS	TEMPS	POIDS	TEMPS POUR 10 ^{cc}
5	247''4	5,21	474''8
10	107''5	4,525	235''2
15	83''	5,21	159''3
20	57''9	4,74	122''1
25	87''3	8,75	99''7
30	65''7	7,74	84''8
35	61''5	8,23	74''7
40	71''9	10,9	65''9

Nous nous sommes arrêté à cette pression de 40°, les gouttes ne se formant plus distinctement.

Si on calcule les vitesses théoriques d'après la vitesse 474''8, on obtient les chiffres suivants :

PRESSIONS	CHIFFRES D'EXPÉRIENCE	CHIFFRES THÉORIQUES
5	474'' 8	474'' 8
10	235'' 2	237'' 4
15	159'' 8	158'' 2
20	122'' 1	118'' 7
25	99'' 7	94'' 9
30	84'' 8	79'' 1
35	74'' 7	67'' 9
40	65'' 9	61'' 8

On voit, par ces chiffres, que la loi des pressions est sensiblement vérifiée pour le tube employé et dans le cas de l'eau pour les pressions de 5 à 20 cm. ; déjà à cette pression de 20 cm., on observe un léger écart qui devient de plus en plus considérable au fur et à mesure que la pression augmente, surtout si l'on considère que les chiffres sur lesquels se font sentir ces différences sont de plus en plus petits.

Comparons maintenant la forme des gouttes. Nous observerons, pour les pressions 5, 10, 15, 20 cm., que la forme est arrondie, parfaitement régulière ; mais tandis que pour 5, 10, 15, elles sont immobiles, pour la pression 20, au contraire, elles sont animées de vibrations très faibles mais cependant saisissables ; pour la pression 25, les gouttes sont animées de vibrations tout à fait nettes et de plus elles sont pointues et elles le deviennent de plus en plus jusqu'à la pression 40, où le liquide s'échappe sous forme de filet.

Il se déduit de cela que :

1° ce tube est capillaire pour l'eau jusqu'à 20 cm. ;

2° que le procédé fondé sur la forme des gouttes est légitime.

Nous venons de dire que la loi est vérifiée; mais, cela n'est pas rigoureusement exact; nous négligeons, en effet, certaines causes d'erreur qui modifient jusqu'à un certain point les résultats.

C'est ainsi que ne sont pas corrigées la tension superficielle du liquide et la capillarité des extrémités du tube dont les actions ont été mises nettement en évidence par M. RONCERAY.

Mais, nous le répétons, au point de vue pratique, ces erreurs sont négligeables et leur correction ne rachèterait pas la complication de la méthode.

De ce qui vient d'être dit, il ressort qu'il est très facile de s'assurer que les lois de Poiseuille sont satisfaites.

Mais, ceci étant démontré pour l'eau, il sera inutile de répéter les mêmes observations pour les autres liquides ou tout au moins pour ceux dont la viscosité est plus grande.

En effet, nous savons que les lois de Poiseuille sont d'autant mieux satisfaites que le liquide est plus visqueux.

En ce qui concerne notre étude, nous n'aurons affaire, si ce n'est dans deux ou trois cas particuliers, qu'à des liquides plus visqueux que l'eau. Nous n'aurons donc plus à nous préoccuper de savoir si le tube est capillaire dans chaque cas.

Pression employée.— Pour déterminer la viscosité relative d'un liquide par rapport à l'eau, il nous faut dans le cas de ce liquide et dans celui de l'eau employer la même pression; nous simplifierons les expériences en employant dans tous les cas une pression invariable.

Nous nous sommes donc demandé qu'elle était la pression à employer de préférence puisque nous avons le choix depuis 0 jusqu'à 20 centimètres d'eau, hauteur au-dessus de laquelle le tube employé cesse d'être capillaire.

Il est évidemment préférable de prendre la pression la plus élevée possible de façon à obtenir le débit le plus considérable et par suite à raccourcir l'opération.

Cependant la pression 20 centimètres a été abandonnée à cause de la différence déjà un peu considérable avec le chiffre théorique ; nous avons préféré la pression 15 centimètres.

Il est encore une autre raison à ce choix ; plusieurs actions perturbatrices se faisaient sentir, entre autres, l'influence capillaire des extrémités du tube et la tension superficielle. Nous avons dit que ce serait compliquer sans grand profit l'appareil que de vouloir les corriger, d'autant plus qu'en pratique les erreurs qui en proviennent sont peu importantes. Mais il est évident malgré cela que s'il est possible de diminuer ces chances d'erreur sans complications d'aucune sorte, nous nous empresserons de le faire. Or, d'après les chiffres donnés par M. RONCERAY, ces causes d'erreur sont surtout importantes pour les faibles pressions : relativement considérables à 5 centimètres de pression, dans le cas de notre tube, elles seront déjà très atténuées à 15 centimètres. Voilà donc une autre raison pour ne pas prendre une pression inférieure.

Influence de la densité. — Comme nous l'avons vu, ce facteur est resté ignoré dans tous les viscosimètres industriels. Nous nous sommes demandé s'il n'y avait pas là une cause d'erreur importante et nos résultats nous ont confirmé qu'il en était bien ainsi.

On peut déjà s'en rendre compte a priori par l'exemple suivant.

Prenons le plus simple des viscosimètres, la pipette de DUCLAUX pour évaluer approximativement la viscosité du mercure.

Dans une première opération nous remplirons la pipette de mercure jusqu'au trait de jauge marqué sur la tige,

puis nous laisserons écouler en notant le commencement et la fin de l'écoulement.

Dans une deuxième opération, nous remplacerons le mercure par l'eau. Si nous supposons le trait de jauge à 10 centimètres de hauteur au-dessus de l'extrémité du capillaire, la pression exercée sera, dans le cas du mercure, de 10 centimètres de mercure soit environ 140 centimètres d'eau, et, dans le cas de l'eau, 10 centimètres seulement, soit une pression 14 fois moindre.

D'ailleurs les deux liquides passant successivement par les mêmes hauteurs pendant tout l'écoulement, la pression est 14 fois plus grande dans le cas du mercure que dans le cas de l'eau.

Il est évident dans ces conditions que la vitesse du mercure est trop grande et que le chiffre de la viscosité ainsi obtenu est trop faible.

L'exemple précédent est un cas extrême, mais il en est d'autres où les différences de densité pour être moins fortes n'en sont pas moins importantes à considérer et c'est ce que nous allons démontrer.

Il était préférable de s'adresser pour effectuer cette série de recherches, non pas aux gommes qui ne sont pas des espèces chimiques, mais aux sels minéraux chimiquement définis ; parmi eux, nous avons pris le chlorure de sodium et l'azotate de potassium, substances déjà choisies par Yvon et de l'étude desquels cet auteur a tiré des conclusions que nous désirions contrôler par cette méthode.

Nous avons préparé avec de l'eau distillée les solutions suivantes :

Chlorure de sodium	25 0/0.
Sulfate de soude	30 0/0.
Iodure de potassium	30 0/0.
Azotate de potassium	20 0/0.

Ces solutions ont été soigneusement filtrées au papier à plusieurs reprises, puis nous avons recherché successive-

ment leur vitesse d'écoulement au viscosimètre décrit précédemment.

Dans une première série d'expériences la densité a été négligée; on a employé une hauteur de chute égale à 15 centimètres, c'est-à-dire que dans le cas de l'eau comme de chacune des solutions la hauteur entre l'extrémité de sortie du capillaire était de 15 centimètres.

Les résultats de ces expériences ont été consignées dans le tableau suivant.

Dans la dernière colonne de ce tableau, on a transformé en volume le poids du liquide écoulé.

TABEAU III.

Hauteur de chute uniforme = 15 centimètres.

SUBSTANCES	TENEUR des solutions pour 100	TEMPS d'écoulement	POIDS du liquide écoulé	VOLUME du liquide écoulé
Chlorure de Na	25	150"5	7 gr. 38	6 cc. 25
Sulfate de Na.	30	123"2	5 99	5 36
Iodure de K ..	30	67"9	5 75	4 52
Azotate de K ..	20	48"8	3 56	3 14

Ramenons donc chaque cas au temps mis par chaque liquide pour donner un même volume, soit 10 cc. par exemple; nous aurons :

Chlorure de sodium	240" 8.
Sulfate de soude	229" 8.
Iodure de potassium	150" 2.
Azotate de potassium	155" .

Dans une deuxième série d'expériences, nous avons refait les mêmes opérations, mais cette fois en corrigeant la

densité; pour cela, nous avons calculé la hauteur de liquide correspondant à 15 centimètres de hauteur d'eau d'après la formule :

$$\frac{H}{H'} = \frac{d'}{d}.$$

Les valeurs suivantes sont obtenues pour les hauteurs de chute correspondantes dans chaque cas :

Solution de Chlorure de Sodium à 25 0/0. H = 12 cm. 70.

Solution de Sulfate de Soude à 30 0/0. H = 13 cm. 42.

Solution d'Iodure de Potassium à 30 0/0. H = 11 cm. 83.

Solution d'Azotate de Potassium à 20 0/0. H = 13 cm. 26.

Les résultats sont exposés dans le tableau suivant :

TABLEAU IV.

Hauteur de chute calculée suivant la densité.

SUBSTANCES	TENEUR des solutions pour 100	TEMPS d'écoulement	DOSE du liquide écoulé	VOLUME de liquide écoulé
Chlorure de Na.	25	5'22"3	10 gr. 35	8 cc. 75
Sulfate de Na.	30	1'30"	3 96	3 49
Iodure de K..	30	65"	4 975	3 91
Azotate de K.	20	35"	2 25	1 86

En ramenant le temps d'écoulement au même volume 10 cc., on obtient :

Chlorure de Sodium 246".

Sulfate de Soude 258".

Iodure de Potassium 166"5.

Azotate de Potassium 176".

Si on rapproche maintenant les chiffres obtenus avec et sans correction de la densité dans un même tableau où la

dernière colonne est occupée par les différences de temps en secondes dans les deux cas, on obtient :

TABLEAU V.

SUBSTANCES	VITESSE	VITESSE	DIFFÉRENCE de vitesse
	avec correction de densité	sans correction de densité	
Chlorure de sodium..	282"	240"8	41"2
Sulfate de soude.....	258"	229"8	28"2
Iodure de potassium..	166"5	150"2	16"3
Azotate de potassium.	176"	155"	21"

D'après ces chiffres, on voit que, pour des différences de densités relativement assez faibles, on obtient des différences de vitesse considérables.

La conclusion de ces expériences est donc qu'il est très important, pour rechercher la vitesse d'écoulement d'un liquide et par suite la viscosité, de se préoccuper de la densité ; aussi dans toutes les expériences qui suivront la correction de ce facteur ne sera pas oubliée.

Lorsqu'on cherche la viscosité de substances de densités voisines, en prenant comme terme de comparaison la vitesse de l'une d'elles, comme cela a lieu pour les huiles, on peut jusqu'à un certain point négliger cette cause d'erreur parce que les densités des liquides considérés sont très voisines ; mais il n'en n'est plus de même quand on opère sur des substances diverses, comme celles que nous avons employées plus haut.

Aussi est-ce évidemment à tort que DUCLAUX compare les vitesses d'écoulement de l'alcool et de l'eau obtenues avec sa pipette ; car, outre les autres causes d'erreur, l'inob-

servation de la densité suffit à elle seule à fausser les résultats.

De même les expériences d'Yvon dans lesquelles cet auteur s'occupe de substances de densités différentes sont-elles entachées d'erreur par ce seul fait.

La viscosité des solutions salines n'est pas proportionnelle à la teneur en principe soluble.

Il était encore intéressant de savoir s'il existait une proportionnalité entre la concentration et la viscosité des solutions salines. On comprend en effet combien la mesure de cette dernière valeur serait simplifiée si, connaissant la viscosité d'une solution à un titre donné, il était possible de calculer celle d'une solution à un titre différent. A priori cette proportionnalité ne semblait pas impossible ; on aurait compris, par exemple, que V étant la viscosité d'une solution saline à 5 %, celle d'une solution à 10 % aurait pu être obtenu par le calcul $V' = [(V-1) \times 2] + 1$.

1 étant la viscosité de l'eau qui évidemment n'aurait pu entrer en ligne de compte dans le produit par 2.

C'est pour reconnaître ce qu'il pouvait y avoir de plausible dans ces suppositions que nous avons entrepris cette série d'expériences qui, on le verra dans la suite, infirment des opinions paraissant solidement établies jusqu'alors.

Dans ces expériences, nous avons employé deux sels : l'iodure de potassium, d'une part, le chlorure de sodium, d'autre part. Dans le premier cas, nous avons fait une solution de 30 % qui fut dédoublé successivement avec de l'eau distillé en solution à 15 %, 7,5 %, 3,75 %.

Pour le chlorure de sodium, la solution initiale fut à 25 % puis successivement de 12,5 %, 6,25 %, 3,125 %.

Pour chacune de ces diverses solutions, les vitesses d'écoulement ont été successivement déterminées en tenant compte de la densité.

TABLEAU VI.

Iodure de potassium.

Vitesse d'écoulement.

Pression, 15 centimètres d'eau.

Température 17°.

Vitesse de chute de 10 cc, d'eau à 17° = 166".

CONCENTRATION des solutions	DENSITÉ	HAUTEUR de chute	TEMPS d'écoulement	POIDS écoulé	VOLUME écoulé
40	1,356	11,06	67"7	5,64	4,16
30	1,267	11,84	65"	4,975	3,91
20	1,161	12,92	62"6	4,62	3,98
10	1,074	13,96	58"8	3,985	3,71
5	1,035	14,49	61"6	3,985	3,85

Pour 10cc. de liquide écoulé, les temps seront dans chaque cas :

Solution	40 0/0	167"5
—	30 0/0	166"5
—	20 0/0	157"
—	10 0/0	158"7
—	5 0/0	160"

Par suite, les viscosités seront :

$$\begin{aligned}
 40 \text{ 0/0 } V &= \frac{167"5}{166} = 1,012 \\
 30 \text{ 0/0 } V &= \frac{166"5}{166} = 1,001 \\
 20 \text{ 0/0 } V &= \dots\dots\dots 0,94 \\
 10 \text{ 0/0 } V &= \dots\dots\dots 0,95 \\
 5 \text{ 0/0 } V &= \dots\dots\dots 0,99
 \end{aligned}$$

L'examen des chiffres précédents montre que, loin de l'augmenter, l'iodure de potassium diminue dans certaines

proportions la viscosité de l'eau et qu'il n'existe aucune loi réglant la valeur des variations.

TABLEAU VII.

Chlorure de sodium.

Vitesse d'écoulement des solutions.

Température 12°.

Pression uniforme, 15 centimètres d'eau.

CONCENTRATION pour 100 des solutions	DENSITÉS	HAUTEUR de chute	TEMPS d'écoulement	POIDS du liquide écoulé	VOLUME de liquide écoulé
25 0/0	1,182	12,7	4'15"	10 gr 35	8,75
12,5	1,084	13,8	3'	9 25	8,53
6,25	1,042	14,4	3'15"	10 80	10,36
3,125	1,022	14,67	4'	15 23	14,9

Soit, le temps étant ramené au volume de 10 cc., les valeurs suivantes :

Solutions à	25	0/0	— 246"
—	à	12,5	0/0 — 211"
—	à	6,25	0/0 — 188"
—	à	3,125	0/0 — 161"

Et en calculant la viscosité d'après ces chiffres :

25	0/0	V = 1,397
12,5	0/0	V = 1,255
6,25	0/0	V = 1,066
3,125	0/0	V = 0,914

Là encore, il est facile de voir qu'il n'existe aucune relation régulière entre les viscosités des différentes solutions.

Aucune proportionnalité ne permet donc de déduire la

viscosité d'une solution d'une concentration donnée de celle d'une autre concentration.

Action variable des sels sur la viscosité de l'eau suivant la concentration.

Nous venons de noter dans nos expériences sur l'iodure de potassium et le chlorure de sodium que pour une certaine concentration leurs solutions ont une viscosité inférieure à celle de l'eau. A partir d'une certaine teneur, qui n'est pas la même dans les deux cas, la viscosité devient supérieure à celle de l'eau.

Yvon avait noté un fait semblable et il classe les substances en trois groupes : dans le premier, il place celles qui fluidifient l'eau ; de ce nombre sont : l'iodure de potassium, le bromure de potassium, l'azotate de potassium.

Dans une deuxième catégorie, il range celles qui n'en modifient pas la viscosité de l'eau, comme le sulfate de soude. Enfin, dans une troisième classe, il introduit les substances qui rendent l'eau plus visqueuse, comme le chlorure de sodium.

Mais, dans ces expériences, Yvon crut pouvoir négliger la densité ; d'un autre côté, il définit la vitesse d'écoulement par le nombre de gouttes tombant à la seconde ; nous verrons tout à l'heure que cette définition est inexacte.

On ne sera pas étonné, dans ces conditions, que les résultats de nos recherches ne soient pas toujours en concordance avec ceux de cet auteur.

Nous avons donc institué une nouvelle série d'expériences pour éclaircir ces faits, avec l'azotate de potassium et le sulfate de soude.

En voici les résultats :

TABLEAU VIII.

Azotate de potassium.

Vitesse d'écoulement des solutions dans l'eau.

Pression, 15 centimètres d'eau.

Température 11°5.

Vitesse de H²O à la même température = 178".

CONCENTRATION pour 100	DENSITÉ	HAUTEUR de chute	TEMPS d'écoulement du liquide	POIDS écoulé
25 0/0 à 18°	1,160	12,93	65"6	4,595
20 0/0	1,131	13,26	35"	2,25
10 0/0	1,063	14,10	40"	2,50
5 0/0	1,030	14,56	55"	3,30

Dans ce tableau, on a employé la température de 18° pour la solution à 25 0/0 par crainte de cristallisation.

Le temps d'écoulement amené à 10 cc., on obtient :

Solution à 25 0/0 à 18°	165"6
— à 20 0/0	176"
— à 10 0/0	170"
— à 5 0/0	171"8

D'où l'on tire les viscosité suivantes :

25 0/0 à 18° V	= 1,009
20 0/0 V	= 0,988
10 0/0 V	= 0,955
5 0/0 V	= 0,960

TABEAU IX.

Sulfate de soude.

Vitesse d'écoulement des solutions.

Pression, 15 centimètres d'eau.

Température, 13°5.

Vitesse d'écoulement de H²O = 174" pour 10 cc.

CONCENTRATION pour 100	DENSITÉ	HAUTEUR de chute	TEMPS d'écoulement du liquide	POIDS écoulé
30 0/0	1,119	13,42	1'30"	3,96
15 0/0	1,058	14,17	1'25"	4,315
7,5 0/0	1,029	14,57	1'50"	5,75

Les *temps* pour 10 cc. seront :

Solution à	30 0/0	258"
— à	15 0/0	208"
— à	7,5 0/0	197"

et par suite la *viscosité* :

30 0/0	V = 1,48
15 0/0	V = 1,19
7,5 0/0	V = 1,13

Ces expériences montrent nettement que l'azotate de potassium se conduit de la même façon que le chlorure de sodium et l'iodure de potassium. Pour les concentrations 5, 10 et 20 0/0, la viscosité est moindre que celle de l'eau ; à 20 0/0 cette viscosité est supérieure ; l'azotate de potassium et l'iodure de potassium ne constituent donc pas une classe spéciale de corps ; au point de vue de la viscosité, ils rentrent dans la dernière classe.

Quant au sulfate de soude, loin de laisser indemne la viscosité de l'eau, il l'augmente, au contraire ; on ne peut

donc créer pour lui une classe spéciale de corps ne modifiant pas la fluidité de l'eau.

Au total, il résulte de nos recherches que les sels agissent sur l'eau en augmentant sa viscosité à partir d'un certain degré de concentration et que par suite il n'existe pas sous ce rapport trois classes de corps mais bien une seule.

Vitesse d'écoulement. — Jusqu'ici nous avons considéré la vitesse d'écoulement comme définie par le temps mis par l'unité de volume de liquide pour passer par l'orifice du capillaire.

Pour la plupart des auteurs qui se sont occupés de la question, la vitesse d'écoulement est la relation qui lie le volume écoulé au temps.

Cependant Yvon donne de cette grandeur une définition différente. Pour lui, la vitesse d'écoulement est déterminée par le nombre de gouttes se détachant pendant l'unité de temps.

Or, on sait que les gouttes sont extrêmement variables; de nombreuses causes très complexes en modifient la forme, le poids, le volume.

Dans un simple but de contrôle, il nous a paru nécessaire d'établir si ces deux façons de définir la vitesse d'écoulement sont équivalentes et si l'on peut, sans erreur, se servir de l'une ou de l'autre et pour cela nous avons institué les expériences suivantes.

Les temps d'écoulement de 10 cc. des solutions à différents titres de l'iodure de potassium, de l'azotate de potassium, du chlorure de sodium et au sulfate de soude étant préalablement déterminés.

Dans les expériences qui vont suivre, on déterminera le nombre de gouttes à la minute dans les mêmes conditions de température et de pression avec correction de la densité.

Les résultats sont consignés dans les tableaux suivants:

TABLEAU X.

Iodure de potassium.

Solution d'iodure de potassium.
Nombre de gouttes à la minute.
Pression, 15 centimètres d'eau.

CONCENTRATION pour 100	NOMBRE DE GOUTTES à la minute	TEMPS D'ÉCOULEMENT de 10 cc. de solution
40	98,1	167"5
30	92,3	166"2
20	86	157"
10	81,6	158"7
5	77,9	160"

TABLEAU XI.

Azotate de potassium.

Solution d'azotate de potassium.
Nombre de gouttes à la minute.
Pression, 15 centimètres d'eau.

CONCENTRATION pour 100	NOMBRE de gouttes à la minute	TEMPS d'écoulement de 10 cc. de solution
20	80,5	176"
10	79,5	170"
5	76,5	171"8

TABLEAU XII.

Chlorure de sodium.

Solution de chlorure de sodium.

Nombre de gouttes à la minute.

Pression, 15 centimètres d'eau.

CONCENTRATION pour 100	NOMBRE de gouttes à la minute	TEMPS d'écoulement de 10 cc. de solution
25	46,8	246"
12,5	62,6	211"
6,25	69,2	188"
3,125	71,5	161"

TABLEAU XIII.

Sulfate de soude.

Solution de sulfate de soude.

Nombre de gouttes à la minute.

Pression, 15 centimètres d'eau.

CONCENTRATION pour 100	NOMBRE de gouttes à la minute	TEMPS d'écoulement de 10 cc. de solution
30	51,3	258"
15	63,5	208"
7,5	66,	197"

De l'examen des tableaux X et XI, il ressort que le temps d'écoulement de 10 cc. diminue jusqu'à la concen-

tration 20 % pour l'iode de potassium et jusqu'à la concentration 10 % pour l'azotate. Or, si l'on se reporte au nombre de gouttes des solutions correspondantes, on constate qu'il diminue également ; ceci est en opposition flagrante, car le nombre des gouttes devrait augmenter au lieu de diminuer pour être d'accord.

Pour les concentrations 3,75 % d'iode de potassium et 5 % d'azotate de potassium ainsi que dans les tableaux XII et XIII, les indications semblent concordantes à première vue. En effet, le nombre des gouttes augmente en même temps que le temps d'écoulement diminue. Mais cette concordance n'est qu'apparente, car il est facile de voir que si les indications étaient comparables, les rapports entre 2 nombres de la troisième colonne devraient être égaux aux rapports inverses des nombres de la deuxième colonne. Or, un simple calcul montre qu'il n'en est pas ainsi et qu'on obtient des inégalités telles que :

$$\frac{62,6}{46,8} \neq \frac{246}{211}$$

La conclusion de ces recherches s'impose : le nombre de gouttes ne peut être pris comme mesure de la vitesse d'écoulement, car il n'y a aucune relation entre les deux choses.

YVON, en se servant de cette méthode de mesure, d'une part, en négligeant la densité et employant un tube non rigoureusement capillaire, d'autre part, a compromis l'exactitude des coefficients de viscosité qu'il a déterminés.

Cet auteur, en effet, a publié un travail considérable à propos de la viscosité d'un grand nombre de médicaments liquides. Les résultats ont été réunis dans son Mémoire, pages 93, 94, 95, 96, et l'on pourra constater malheureusement que les causes d'erreur signalées plus haut n'ont pas été évitées.

Il n'en est pas moins vrai qu'YVON a senti la nécessité d'introduire en pharmacie une nouvelle méthode physique

de contrôle des médicaments et nous sommes persuadés avec cet éminent praticien qu'elle peut y rendre des services signalés. Si les circonstances nous le permettent d'ailleurs, nous reprendrons ce sujet intéressant ; qu'il nous suffise aujourd'hui d'en avoir tenté l'application aux gommes, ce qui nous ramènera à l'étude de la question qui nous fut primitivement posée.

CHAPITRE IV.

Étude de la viscosité chez les Gommés.

On sait que les gommés se divisent en deux grandes catégories, les gommés solubles, les gommés insolubles.

Les secondes présentent ce caractère de se gonfler d'une façon considérable, de façon à simuler une véritable dissolution ; mais si l'on regarde au microscope cette pseudo-solution on peut reconnaître les éléments anatomiques générateurs de la gomme dont la forme s'est plus ou moins conservée.

Les pseudo-solutions des gommés non solubles présentent une consistance en général plus considérable que celles des gommés solubles et une quantité très faible de gomme adraganthe, le type de cette classe, suffit à donner au looch officinal sa consistance épaisse.

Nous venons, pour exprimer l'état physique que donne au véhicule la gomme insoluble, d'employer à dessein le mot de consistance. La viscosité, en effet, n'est pas le seul phénomène qui intervienne dans le cas ; il ne s'agit pas d'une solution homogène où les molécules sont dispersées régulièrement dans le solvant, mais d'une fausse solution présentant ces blocs de substances plus ou moins divisés dont nous venons de parler et dès lors ce frottement interne qu'est la viscosité, va se compliquer des frottements accessoires entre ces blocs eux-mêmes.

Bien mieux, dans les solutions suffisamment concen-

trées, il semblerait même que cette consistance soit due entièrement à ces frottements secondaires.

On pourrait dire d'une façon paradoxale que c'est le liquide qui est dissout dans la substance ; chaque bloc agissant à la façon d'une éponge dont les pores sont les espaces intermoléculaires. Dès lors, on peut se figurer un pareil liquide comme un assemblage de ces éponges cellulosiques hyalines, séparées les unes des autres par des espaces étroits remplis de liquide.

On comprend donc que dans ce cas il ne s'agit plus d'un roulement de molécules les unes sur les autres, mais de celui de blocs irréguliers ne présentant rien de moléculaire.

Il ne peut donc s'agir en pareil cas de viscosité au sens propre du mot et en même temps que se pose la question : peut-on appliquer aux gommes insolubles les principes de la viscosité ? apparaît l'impossibilité d'une pareille assimilation.

Il semble donc bien évident que, malgré l'autorité de DUCLAUX, qui mesurait la viscosité de la gomme adraganthe, pareille mesure est illusoire, et pour nous, il ne peut être question, pour les raisons exposées, de parler des gommes insolubles.

Ceci posé, il reste à dire deux mots sur la préparation des solutions gommeuses employées dans les recherches qui vont suivre.

On s'est servi pour l'obtention des solutions concentrées du procédé bien connu, consistant à suspendre la substance soluble à la partie supérieure du liquide.

Pour cela, à la partie supérieure d'une éprouvette on suspend un panier métallique contenant les fragments de gomme et on remplit d'eau, de façon à couvrir entièrement cette dernière. Les solutions à 10 ou 20 % se font ainsi du jour au lendemain.

Variations de la viscosité des Gommés en fonction de la température.

Comme toute substance visqueuse, les solutions de gomme se fluidifient sous l'action de la chaleur ; dans certaines industries, les gommés étant employées à température assez élevée, il nous a paru intéressant de rechercher les variations de viscosité des gommés sous l'influence de la chaleur.

On a pris comme unité de viscosité celle de l'eau à la température de 17°.

Au préalable, on a mesuré ces variations de viscosité de l'eau avec la température. On verra, par le tableau suivant, que la viscosité de ce liquide diminue régulièrement jusqu'à 35°, puis, à cette température, les variations, tout en restant régulières, deviennent moins considérables.

On remarquera, dans le tableau, que nous avons opéré à deux pressions différentes : dans le 1^{er} cas, à 15 cm. ; dans le 2^e, à 10 cm. C'est qu'à la température de 40° les gouttes deviennent vibrantes et pointues. Or, d'après ce que nous avons vu, les lois de Poiseuille ne sont plus applicables à ce moment.

On a donc opéré à 10 cm. de pression ; puis on a ramené par le calcul à la pression de 15 cm.

Dans les autres tableaux, on a étudié la viscosité des gommés suivantes :

Gomme Hachach.

Gomme pelliculée de l'Inde.

Gomme d'Aden.

Pour ces deux dernières, on a opéré avec une pression de 15 cm. de hauteur de solution, puis on a corrigé la densité par le calcul.

Variations de la viscosité de l'eau avec la température.

Pression : 15 centimètres d'eau à 15°.

TEMPÉRATURE	TEMPS d'écoulement	POIDS écoulé	TEMPS d'écoulement pour 10 cc.	VISCOSITÉ
15°	1'2''9	3 gr. 61	170''5	1,02
17	1'6''6	3 995	166''	1,
20	1'23''2	5 15	161''	0,97
25	1'19''	1 22	151''	0,91
30	1'9''6	4 92	141''	0,85
35	1'6''6	5 070	131''	0,78
40	62''	4 890	126''	0,75

Pression : 10 centimètres d'eau à 15°.

TEMPÉRATURE	TEMPS d'écoulement	POIDS écoulé	TEMPS D'ÉCOULEMENT		VISCOSITÉ
			pour 10	calculé sous pression 15	
40°	1'21''1	4,30	188''	125''	0,75
45	1'17''7	4,75	186''	124''	0,745
50	1'10''1	3,81	184''	123''	0,74

D'après ces chiffres la viscosité de l'eau diminue régulièrement avec la température et en même temps cette diminution devient de moins en moins grande.

Variations de la viscosité des gommés avec la température.

Gomme Hachach (Soudan Egyptien).

Solution à 10 %.

TEMPÉRATURE	DENSITÉ	TEMPS d'écoulement	POIDS écoulé	VOLUME écoulé	TEMPS d'écoulement pour 40	VISCOSITÉ
15°	1036,5	2'49''1	2	1,93	876''	5,27
17	1036	2'23''5	1,74	1,67	859''	5,17
20	1035,5	2'28''3	1,89	1,82	814''	4,90
25	1034	2'57''8	2,48	2,38	747''	4,5
30	1033	2'21''3	2,125	2,06	685''	4,12
35	1032	2' 2''6	1,89	1,83	669''	4,03
40	1031,5	1'44''9	1,69	1,63	643''	3,87
45	1030	2'17''9	2,35	2,28	604''	3,63
50	1029,5	2'21''8	2,68	3,60	545''	3,28

Variations de la viscosité des gommés avec la température.

Gomme pelliculée de l'Inde.

Solution à 10 %.

TEMPÉRATURE	DENSITÉ	PRESSIION EN HAUTEUR de solution	TEMPS d'écoulement	POIDS écoulé	VOLUME écoulé	TEMPS d'écoulement pour 10 cc.	TEMPS pour 10 cc. calculé d'après la densité	VISCOSITÉ
15	1033	15	2'51''6	1,385	1,34	1280''	1322''	7,9
17	1032	15	3'59''3	1,965	1,90	1259''	1300''	7,8
20	1032	15	3'12''9	1,66	1,60	1205''	1243''	7,48
25	1030,5	15	2' 5''6	1,225	1,12	1120''	1154''	6,95
30	1029,5	15	2'22''7	1,41	1,36	1049''	1080''	6,50
35	1028	15	2' 0''4	1,21	1,17	1029''	1057''	6,36
40	1027	15	2' 2''7	1,31	1,27	966''	994''	5,98
45	1026	15	2' 5''4	1,41	1,31	908''	913''	5,60
50	1024,5	15	2' 1''3	1,435	1,40	866''	887''	5,34

Variations de la viscosité des gommés avec la température.

Gomme d'Aden Mokri.

Solution à 10 0/0.

TEMPÉRATURE	DENSITÉ	PRESSIEN EN HAUTEUR de solution	TEMPS d'écoulement	POIDS écoulé	VOLUME écoulé	TEMPS d'écoulement pour 10 cc.	TEMPS pour 10 cc. calculé d'après la densité	VISCOSITÉ
15	1033	15	2'17''5	2,325	2,25	611''	631''	3,81
17	1032	15	3'12''7	3,30	3,29	585''	603''	3,63
20	1032	15	2'3''	2,20	2,13	577''	595''	3,52
25	1030,5	15	2'2'' 9	2,425	2,35	522''	538''	3,24
30	1029,5	15	1'29''	1,845	1,74	497''	511''	3,07
35	1029	15	1'33''	2,16	2,10	442''	455''	2,62
40	1027	15	1'1'' 2	1,485	1,44	425''	436''	2,62
45	1026	15	1'5'' 2	1,67	1,62	420''	412''	2,48
50	1024,5	15	1'6'' 6	1,77	1,72	387''	396''	2,38

On peut traduire graphiquement les résultats précédents. On a porté les températures en abscisses, les viscosités sur les ordonnées. L'examen des courbes obtenues montre que les solutions gommeuses varient de la même façon au point de vue de la viscosité sous l'influence de la chaleur ; cette viscosité grandit d'autant plus que la température est plus basse.

Mais, là encore, il est impossible de calculer la viscosité à une température donnée connaissant la viscosité à une autre température.

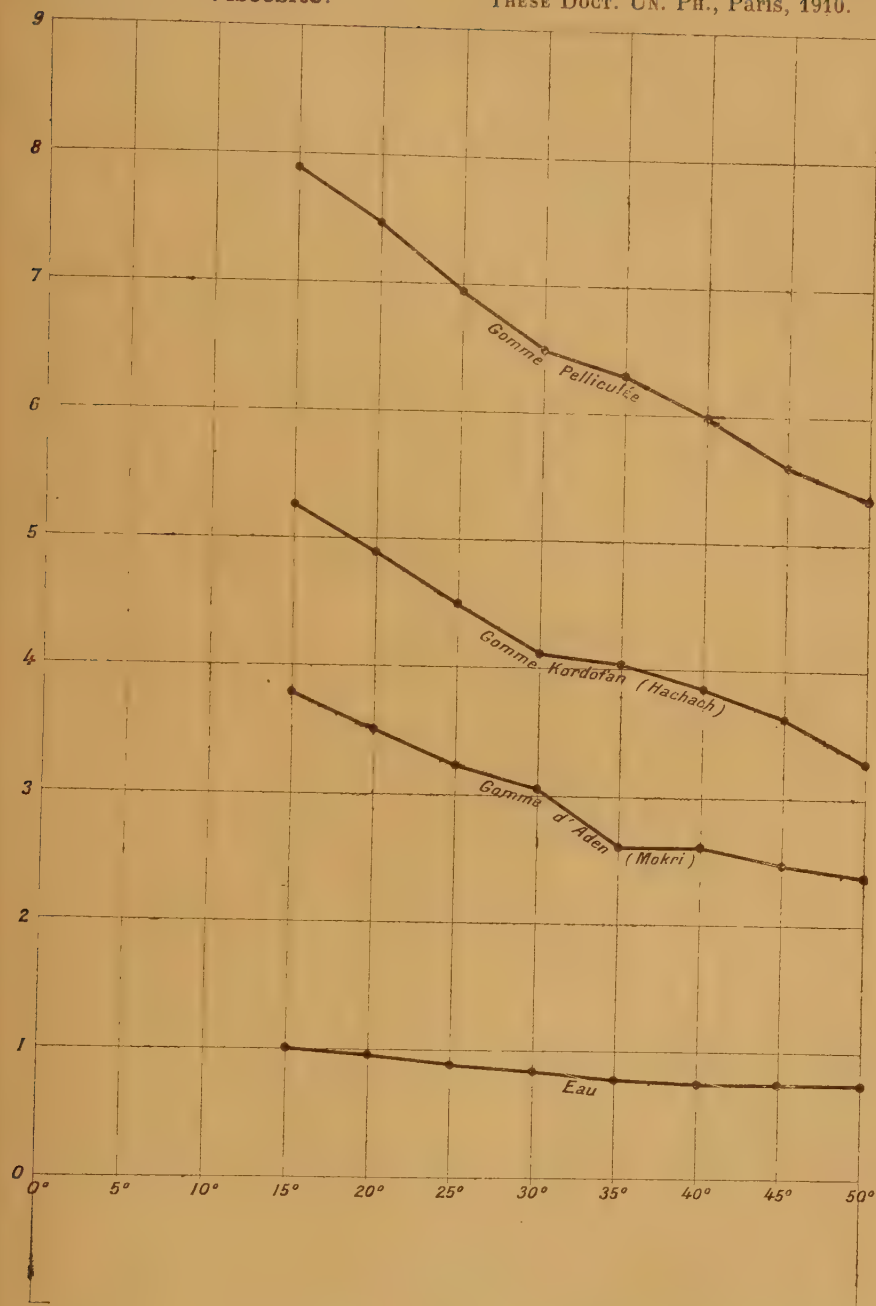


FIG. 7. — Variations de la viscosité de l'eau et des gommes avec la température.

Variations de la viscosité des solutions gommeuses en raison de la concentration

Les observations suivantes ont eu pour but de comparer entre elles les viscosités de différentes gommes et de voir si une relation quelconque existait soit entre les viscosités de solutions d'une même gomme à des titres divers, soit entre les solutions de plusieurs gommes au même titre.

Les opérations ont porté sur 4 gommes différentes d'aspect et de provenance, ce sont :

- 1° La gomme du Sénégal (dite surblanc n° 1) ;
- 2° La gomme de Kordofan ;
- 3° La gomme pelliculée de l'Inde ;
- 4° La gomme d'Aden Mokri.

Pour les deux premières gommes, on a tenu compte de la densité en faisant varier la hauteur de la colonne de liquide ; pour les deux dernières, on a opéré avec une hauteur uniforme de 15 cm., puis on a fait, par le calcul, la correction de la densité.

Variations de la viscosité des solutions gommeuses avec leur concentration.

Gomme du Sénégal (Surblanc n° 1).

Pression : 15 centimètres d'eau.

Température : 17°.

Vitesse d'écoulement de l'eau à 10 cc. : 166".

TITRE des solutions 0/1	DENSITÉ	TEMPS d'écoulement	POIDS ÉCOULÉ	VOLUME écoulé	TEMPS d'écoulement p. 100.
20	1.066	33'59"2	4,785	4,41	4624"
10	1.033	9'44"4	4,95	4,748	1147"
5	1.016,5	2'25"6	2,905	2,85	515"
2,5	1.008	2' 2"8	4,065	4,03	304"
1,25	1.004	1'30"4	4,010	4,08	221"

Ici encore on a pris, comme unité de viscosité, celle de l'eau à la température de 17°, on obtient ainsi :

$$\text{Solution à } 20\% - V = \frac{4624}{166} = 27.85$$

$$- \text{à } 10\% - V = \frac{1147}{166} = 6.90$$

$$- \text{à } 5\% - V = \frac{515}{166} = 3.1$$

$$- \text{à } 2.5\% - V = \frac{304}{166} = 1.83$$

$$- \text{à } 1.25\% - V = \frac{221}{166} = 1.3$$

Variations de la viscosité des solutions gommeuses avec leur concentration.

Gomme de Kordofan.

Température 17°.

TEMPÉRATURE	DENSITÉ	TEMPS d'écoulement	POIDS écoulé	VOLUME écoulé	TEMPS d'écoulement pour 10	VISCOSITÉ
10	1036	2'23"5	1,74	1,67	859"	5,17
5	1018	2'6" 5	2,91	2,85	444"	2,67
2,5	1009	2'0" 5	4,75	4,43	272"	1,63
1,25	1004	1'59"2	5,555	5,53	215"	1,29

La gomme dite surblanc n° 1 est une très belle sorte très blanche cassante légèrement friable, la gomme de Kordofan lui est bien inférieure comme aspect, on voit qu'au point de vue viscosité, cette infériorité se confirme.

Variation de la viscosité des solutions gommeuses avec leur concentration.

Gomme d'Aden-Mokri

Température 17°.

CONCENTRATION des solutions	PRESSION de en hauteur de solution gommeuse	TEMPS d'écoulement	Poids écoulé	VOLUME écoulé	TEMPS d'écoulement de 10 cc.
10	15	3'12"7	3,30	3,29	585"
5	15	1'49"3	3,41	3,35	326"
2,5	15	1'27"	3,66	3,63	236"
1,25	15	1'13"8	3,74	3,74	197"

Correction de la densité.

CONCENTRATION	DENSITÉ	TEMPS pour 10 cc	VISCOSITÉ
10	1.032	603"	3,63
5	1.016	381"	1,99
2,5	1.008	238"	1,43
1,25	1.004	198"	1,19

On voit que la gomme d'Aden Mokri est tout à fait inférieure au point de vue de la viscosité aux deux sortes que nous venons d'examiner, quoique au point de vue de l'aspect elle ne le cède en rien à la gomme de Kordofan.

Variations de la viscosité des solutions gommeuses avec leur concentration,

Gomme pelliculée de l'Inde.

Température 17°.

CONCENTRATION des solution- pour 100	PRESSION en hauteur de solution	TEMPS d'écoulement	POIDS ÉCOULÉ	VOLUME écoulé	TEMPS d'écoulement pour 10 cc.
10	15	3'59"3	1,90	1,259	1259"
5	id.	2'5" 5	2,375	2,33	539"
2,5	id.	1'58"7	3,86	3,82	310"
1,25	id.	1'58"2	5,40	5,37	220"

Correction de la densité.

CONCENTRATION	DENSITÉ	TEMPS pour 10 cc.	VISCOSITÉ
10	1.032	1.300"	7,8
5	1.016	547"	3,29
2,5	1.008	312"	1,87
1,25	1.004	220"	1,321

On voit par l'examen de ces tableaux que, pour les gommes comme pour les solutions salines, on ne peut déduire de la viscosité d'une solution gommeuse à un titre, donné 5 % par exemple, celle d'une solution de la même gomme à un autre titre, 10 % par exemple.

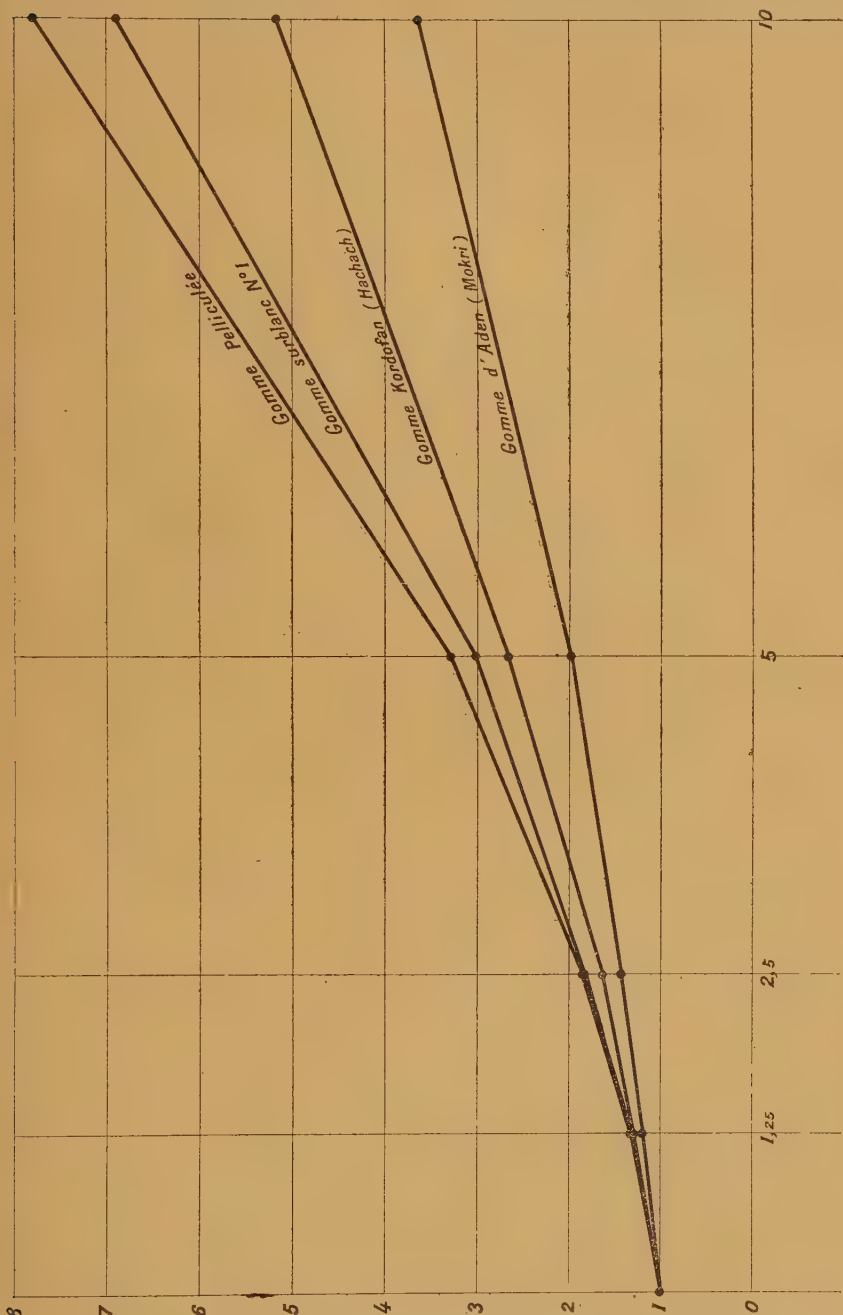


FIG. 8. — Variations de la viscosité des solutions de gommes avec leur concentration.

De même, il n'existe pas de rapport constant entre les viscosités de solutions de 2 gommes différentes au même titre lorsque ce titre varie.

Pour avoir une idée plus nette de la façon dont varie la viscosité avec la concentration, on traduit les résultats précédents par les courbes suivantes.

Les concentrations sont portées sur les abscisses, les viscosités sur les ordonnées.

Les courbes montrent nettement que la différence de viscosité entre 2 gommes croît rapidement avec la concentration et par suite que la différence de viscosité de 2 solutions peu concentrées ne donne aucune idée de celle qui existe entre les solutions plus concentrées.

Une autre remarque que les chiffres précédents permettent de faire, c'est qu'au point de vue de la viscosité des gommes examinées, la gomme pelliculée de l'Inde, d'aspect brunâtre, ressemblant à de la colophane, est supérieure à toutes les autres, même à la gomme très pure du Sénégal dite, sur l'échantillon de la matière médicale, surblanc numéro 1. C'est la démonstration très nette qu'il ne faut pas se fixer exclusivement à l'aspect d'une gomme, pour en déduire la qualité ; la recherche de la viscosité s'impose d'une façon formelle au moins pour certains usages.

CONCLUSIONS.

I. — Aucun des viscosimètres dont nous avons pu nous procurer la description ne nous a semblé répondre à toutes les conditions nécessaires à un appareil donnant des indications rigoureusement exactes.

II. — Nous appuyant sur l'étude raisonnée des différentes causes d'erreur, nous avons donné la description d'un appareil nous paraissant être le mieux à l'abri des critiques.

III. — La densité dans la recherche de la viscosité est une cause d'erreur importante.

IV. — La viscosité des solutions salines n'est pas proportionnelle à leur concentration ; aucune loi régulière ne permet de déduire la viscosité d'une solution donnée de celle d'une autre solution de concentration différente.

V. — La répartition proposée des substances salines en 3 classes : 1° les substances fluidifiant l'eau ; 2° les substances n'agissant pas ; 3° les substances rendant l'eau plus visqueuse, est inexacte, tout au moins en ce qui concerne les substances étudiées.

VI. — D'après les exemples choisis, les substances salines augmentent la viscosité de l'eau à partir d'une certaine concentration différente pour chacune d'elle.

VII. — Nous avons montré que ce nombre de gouttes n'est pas proportionnelle à la vitesse d'écoulement ; pour la mesure de cette valeur, on ne peut donc s'appuyer sur la chute des gouttes.

VIII. — La viscosité des gommes diminue avec l'accroissement de la température en des proportions d'autant

moindre que la température est plus élevée et sans loi régulière.

IX. — La viscosité des solutions gommeuses augmente avec la concentration, non pas proportionnellement à elle, mais d'une façon plus rapide. Donc, d'après la viscosité à une concentration donnée, il est impossible de calculer celle d'une autre solution de la même gomme à un titre différent.

X. — La différence entre les viscosités de 2 solutions gommeuses au même titre augmente rapidement avec la concentration de ces solutions et sans loi régulière.

Il résulte que :

Pour connaître la valeur comparative de deux solutions gommeuses à une concentration commune donnée, il sera nécessaire de rechercher la viscosité de cette concentration.

XI. — Le bel aspect d'une gomme n'est pas un sûr garant de sa supériorité au point de vue de la viscosité, ainsi que le prouvent les gommes étudiées, parmi lesquelles la gomme pelliculée d'aspect de colophane est la meilleure.

XII. — La propriété principale des gommes, celle qui les fait employer industriellement, est la viscosité.

Comme d'un autre côté on manque de base actuellement pour apprécier exactement cette propriété ; nous pensons que les recherches précédentes auront un certain intérêt à ce point de vue. C'est le but que nous nous sommes proposé, nous serons heureux si nous l'avons atteint.

Vu bon à imprimer :

Le Président de la Thèse.

PERROT.

Vu :

Le Directeur de l'École,

GUIGNARD.

Vu et permis d'imprimer :

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

LIARD.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages
Avant-propos.....	5
La viscosité en général.....	7
Historique.....	10
Mesures viscosimétriques se rapportant aux Gommess.	16
Viscosimètres spécialement employés pour les Huiless.	18
Viscosimètres divers.....	21
Conditions à remplir pour la détermination de la viscosité.....	27
Description et mode d'emploi de notre viscosimètre..	35
La viscosité des solutions salines n'est pas proportionnelle à la teneur en principes solubles.....	49
Action des sels sur la viscosité de l'eau suivant la concentration.....	52
Etude de la viscosité chez les Gommess.....	61
Variations de la viscosité des solutions gommeuses en fonction de la température.....	63
Variations de la viscosité des solutions gommeuses en raison de leur concentration.....	69
Conclusions.....	77

IMPRIMERIE ET LITHOGRAPHIE L. DECLUME, LONS-LE-SAUNIER.
